



Fremtidens biogasfællesanlæg nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale

Christensen, Johannes

Publication date:
2006

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Christensen, J. (red.) (2006). *Fremtidens biogasfællesanlæg: nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale*.
Fødevareøkonomisk Institut, Københavns Universitet. IFRO Working Paper Bind 2006 Nr. 4

Fremtidens biogasfællesanlæg

Nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale

Red. Johannes Christensen

E-mail: johannes@foi.dk

Indholdsfortegnelse

Forord	4
Sammendrag	5
1. Indledning	9
1.1. Baggrund	9
1.2. Projektets formål	11
1.3. Projektets arbejdsmetode	12
2. Formulering af alternative systemer og koncepter	15
2.1. Grundprincipper til forøgelse af biogasudbytte	15
2.2. Forseparation og gasudbytte af separeret gylle	16
2.2.1. For-separation ved dekantering	17
2.3. Forbehandling ved vådoxidation	17
2.3.1. Formål ved forbehandling	17
2.3.2. Vådoxidationsprocessen (patentansøgning indleveret af Cambi Bioethanol)	19
2.3.3. Resultater af batch og reaktorforsøg	20
2.3.4. Omkostninger ved processen	21
2.4. Trykkogning og kemisk behandling af dekanteret gylle	22
2.5. Recirkulering	24
2.6. Ammoniumkoncentration	24
2.7. Oversigt over effekter af forskellige behandlingsmetoder	25
2.8. Konceptbeskrivelser	26
2.9. Massebalancer	36
3. Landbrugsoplande	41
3.1. Metode	41
3.2. Begrænsninger i tilførsel af husdyrgødning	41
3.3. Beskrivelse af oplande	42
3.4. Resultater	47
3.4.1. Behov for overførsel af husdyrgødning	47
3.4.2. Udnyttelse af næringsstoffer og indkøb af handelsgødning	48
4. Smitte-reducerende effekt af biogas-teknologi	50
4.1. Smitte-reducerende effekt af nye biogasteknologier	52

4.2. Dokumentation af smitte-reducerende effekt samt godkendelse af biogasanlæg	54
5. Driftsøkonomiske analyser.....	57
5.1. Indledning.....	57
5.2. Forudsætninger.....	57
5.3. Generelle forudsætninger	61
5.4. Driftsøkonomiske resultater	62
5.5. Resultatanalyser.....	66
5.6. Følsomhedsanalyser	70
5.7. Konklusioner	73
6. Perspektivering.....	75

Forord

Dette Working Paper er udarbejdet som led i projektet: Fremtidens biogasanlæg – nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale. Projektet modtager støtte fra Energistyrelsens forskningsprogram Energiforskning 2004.

Projektet er et samarbejdsprojekt mellem Fødevareøkonomisk Institut, Danmarks JordbrugsForskning, Danmarks Tekniske Universitet, Danmarks Fødevareforskning og Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret Planteavl. Projektleder er seniorrådgiver Johannes Christensen, Fødevareøkonomisk Institut.

Et udkast til Working Paperet blev i efteråret 2005 drøftet ved en workshop med deltagelse af repræsentanter fra biogasbranchen.

Working Paperet repræsenterer den første samlede rapportering fra projektet. Sigtet med de beskrevne system- og økonomianalyser er at fremskaffe et grundlag for at udvælge de mest lovende anlægskoncepter for de uddybende analyser, der finder sted i projektets 2. fase. Der vil her blive arbejdet videre med koncepter, der ved integrering af teknologi til forbehandling, recirkulering og separation kan gøre biogasanlæg økonomisk mindre afhængige af organisk affald som supplement til gylletilførslerne og samtidig bidrage til løsning af problemer med overskydende næringsstoffer i husdyrtætte områder.

Working Paperets enkelte kapitler er skrevet af medarbejdere fra de respektive samarbejdspartnere og forfatterne er angivet for hvert kapitel. Indledning, perspektivering og sammendrag er udarbejdet af Johannes Christensen, der endvidere står som redaktør af den samlede rapport.

Fødevareøkonomisk Institut
Afdeling for Produktion og Teknologi
Marts 2006

Mogens Lund

Sammendrag

Dette Working Paper repræsenterer den første samlede rapportering fra et projekt, hvor der søges identificeret nye koncepter for biogassfællesanlæg med sigte på rentabel drift overvejende på gylle. Hidtil har det været en forudsætning for rentabel drift, at der som supplement til gyllen bliver tilført 20-25% biologisk affald, der dels øger gasproduktionen, dels giver indtægter i form af et modtagegebyr.

De nye koncepter, der er analyseret, repræsenterer forskellige kombinationer af teknologi til separation, forbehandling og recirkulering, herunder såvel gårdseparation på de enkelte gårde som separation af afgasset gylle. Samtidig med et øget gasudbytte opnås herved en række synergieffekter på landbrugssiden, der kan bidrage til at sikre en miljømæssigt forsvarlig fordeling og anvendelse af næringsstofferne især i husdyrtætte områder.

Der er udviklet en systemanalytisk model, hvor der for en fuldskalasituation er gennemført analyser, der beskriver et antal udvalgte koncepter og beregner indsatsudbytteforhold, massebalancer og driftsøkonomisk potentiale i forhold til to referencer. En helt uden biogasanlæg og en med et konventionelt biogassfællesanlæg. I kapitel 1, er der vist en skitse af systemmodellen.

Projektet er fasedelt og i 1. fase, som denne afrapportering vedrører, har sigtet været at opnå en grovsortering af de forskellige kombinationer af teknologier. I 2. fase af projektet vil analyserne blive uddybet for de mest lovende muligheder. Den analysemodel, der er udviklet i 1. fase, vil også blive anvendt i 2. fase af projektet til driftsøkonomiske analyser. For udvalgte koncepter skal der endvidere foretages analyser af samfundsøkonomien, hvor også de miljømæssige konsekvenser vurderes.

På grundlag af laboratorieforsøg og forsøg i pilotskala er udformet 8 forskellige anlægskoncepter. 2 af koncepterne er kombinationer af efterseparering og vådoxidation af recirkulerede fibre.

Forseparering af gyllen på gårdene kan bidrage til at forøge tørstofindholdet i det samlede input. Der er således formuleret 2 koncepter, hvor en del af gyllen forsepareres kombineret med efterseparering, recirkulation og vådoxidering.

Endvidere er der 4 koncepter, der forudsætter 100% forseparering, så der alene tilføres fiberfraktion til biogasanlægget. I et af disse koncepter recirkuleres procesvand for at gøre biomassen pumpbar.

I de resterende 3 koncepter sker en vådoxidation af fibrene før de tilføres biogasanlægget. Ved vådoxidationen forudsættes det, at biomassen bliver gjort pumpbar. I et af anlæggene forudsættes UASB reaktor (Upflow Anaeratic Sludge Blanket), mens der i alle øvrige koncepter er anvendt CSTR reaktor (Continuus Stirred Tank Reactor). Forskellen på de to resterende koncepter gælder deres størrelse med sigte på at vurdere størrelsesøkonomiske forhold.

De forskellige koncepter er nærmere beskrevet i kapitel 2, og i tabel 2.5 er givet et samlet overblik, der tillige viser tilført mængde biomasse og forventet metanproduktion. Sidstnævnte er en funktion af tørstofindholdet i den tilførte mængde og de efterfølgende kombinationer af vådoxidation, recirkulering og efterseparation. Navnlig vådoxidationen, der nedbryder fibrenes beskyttende ligninlag og cellulosestrukturen, har stor effekt på udbyttet.

De forskellige anlægskoncepter er koblet sammen med landbrugsoplande, som beskrevet i kapitel 3. Der er sammensat et opland, der har Morsø Kommune som reference. Der er tale om et husdyrtæt område, hvor der typisk er et overskud af fosfor. Selvom fosfor ikke er en begrænsende faktor ifølge harmonireglerne stiller mange amter allerede i dag krav om, at der skal være balance mellem tilførsel og bortførsel af fosfor, når der søges om tilladelse til besætningsudvidelser.

Oplandsstørrelsen varierer koncepterne imellem fra 180.000 ton gylle til godt 1,3 mio. tons for det store anlæg, hvor det er forudsat, at gyllen separeres inden fiberfraktionen tilføres biogasanlægget. Gårdseparation foretages generelt kun af svinegyllen.

Der føres i alle koncepter gødning ud af oplandet, så der efterfølgende kan opnås fosforbalance, 20 kg P pr. ha. I de to referencer sikres dette, dels ved borttransport af gylle, dels ved borttransport af afgasset gylle. Behovet for overførsel andrager her ca. 20% af gødningsmængden. I de øvrige tilfælde reduceres transportbehovet ganske væsentligt til mellem 1 og 4% af gødningsmængden på grund af separationen, hvor fosforen opkoncentreres i fiberfraktionen.

Der suppleres med handelsgødning således at der kan opretholdes den samme planteproduktion uanset hvilket behandlingskoncept, der anvendes. Der søges altid anvendt

så meget næringsstof fra husdyrgødningen som muligt inden for området, så indkøb af handelsgødning minimeres. Forskelle i udgifter til handelsgødning indgår således i den driftsøkonomiske analyse.

I kapitel 5 er vist resultater af de driftsøkonomiske analyser, der kombinerer landbrugsdelen og biogasdelen med henblik på en samlet vurdering af alle indtægter og omkostninger, herunder investeringer i anlæg og komponenter. Tabel 5.1 giver en oversigt over resultaterne af basisanalyserne.

Hovedkonklusionen af de driftsøkonomiske analyser er, at der er et økonomisk potentiale af varierende omfang i samtlige 8 koncepter, idet lønsomheden for dem alle er bedre end for referencen i det konventionelle biogasfællesanlæg. Det synes altså muligt ved forskellige kombinationer af separation, vådoxidering og recirkulering at opnå en mere lønsom drift på ren gylle end i det konventionelle anlæg.

Spørgsmålet er så om disse forbedringer er tilstrækkeligt store til at driften bliver lønsom i forhold til situationen uden biogasanlæg. Som forventet og i overensstemmelse med tidligere resultater viser analyserne, at det traditionelle biogasfællesanlæg ikke er lønsomt i forhold til nulsituationen. Så der skal ske ret kraftige forbedringer for, at de nye koncepter opfylder et generelt lønsomhedskrav.

Reelt er der to ud af de otte koncepter, der under basisforudsætningerne, klarer dette krav, mens de resterende seks stort set viser balance. De to bedste koncepter involverer begge efterseparering og vådoxidering af recirkuleret fibermateriale. I det ene koncept indgår endvidere forseparering på gårdene af 50% af svinegyllen, så tørstofprocenten af den samlede tilførte mængde øges til 10%.

Følsomhedsanalyser viser, at en lavere tørstofprocent i gyllen påvirker resultaterne, så de anlæg, der bygges på en forseparering, klarer sig relativt bedre end anlæg, der baserer sig på almindelig gylle. I forhold til energiproduktionen stiger omkostningerne i både biogasanlægget og til transport, når gyllens tørstofindhold reduceres.

De anlæg, der baserer sig alene på tilførsel af fiberfraktion, giver et højt gasudbytte og økonomien i biogasdelen er god selv ved relativt høje omkostninger for vådoxidering. Omvendt er økonomien dårligere for landbrugsdelen, hvor der må afholdes betydelige omkostninger til gårdseparation. Samlet set ligger disse anlæg kun lidt over nulscaenariet, men er dog fortsat en hel del bedre end det konventionelle koncept for biogasfællesanlæg.

I 2. fase af projektet vil der blive arbejdet videre med de mest lovende muligheder som synes at ligge tæt op af, hvad eksisterende anlæg også vil kunne implementere. Koncepter der baserer sig på fiberfraktionen alene og dermed gårdseparation af hele mængden forekommer ikke realistiske i praksis. I alle fald ikke på kortere sigt.

Vådoxidation indgår i de bedste koncepter. Forudsætningerne for at implementere denne teknologi i praksis er endnu ikke tilstede. I projektets 2. fase vil der blive foretaget yderligere analyser af teknologien, både hvad angår funktion og omkostninger. Men det vil ikke i dette projekt være muligt at gennemføre en egentlig fuldskala afprøvning.

Der findes en række andre metoder til at forbedre biogasudbyttet. Det drejer sig om forlænget opholdstid, findeling, serieudrådning, trykkogning og kemisk behandling. Disse er kort omtalt i kapitel 2. Relevante dele af disse metoder vil tillige blive analyseret. Effekten er måske ikke så stor som for vådoxidering, men omvendt skønnes omkostningerne på forhånd at ligge på et lavere niveau.

Der er i alle tilfælde tale om komplekse analyser, der forudsætter en helhedsvurdering. Den udviklede analysemodel har vist sig at kunne håndtere de nødvendige beregninger, men vil som alle andre økonomiske modeller være afhængig af, at der kan fremskaffes realistiske forudsætninger.

Projektet omfatter også veterinære risikoanalyser, der vurderer den patogenreducerende effekt af de forskellige teknologier og koncepter. I kapitel 4 er der en omtale af sygdomsfremkaldende mikroorganismer og smittespredning med gylle og muligheder for at nye biogasteknologier kan opnå en smittereducerende effekt.

Indførelse af biproduktforordningen har betydet nye krav til og kontrol med biogasanlæg. Der er derfor behov for, at der udvikles modeller til risikovurdering af nye koncepter for biogasanlæg. Der er et modelapparat under udvikling, der baserer sig på beregning af den relative risiko for koncepterne. En særlig udfordring vil være at måle forskelle i risici i økonomiske termer, hvilket kræver, at produktionsøkonomien for besætninger og oplande vurderes i forhold til smittetrykket. Inden for projektets rammer vil man dog ikke kunne nå særligt langt på dette område.

1. Indledning

1.1. Baggrund

Siden først i 1980'erne er der i Danmark sket en udbygning med biogasanlæg baseret på husdyrgødning. Der er bygget såvel større fællesanlæg som mindre gårdanlæg, i alt 21 fællesanlæg og ca. 60 gårdanlæg. Nogle gårdanlæg får leverancer af gødning flere steder fra og grænsen mellem, hvad der er gårdanlæg og hvad der er fællesanlæg, kan være flydende.

Hidtil har driften af anlæggene været baseret på en iblanding af biologisk industriaffald overvejende fra fødevarerindustrien. Dette har været en forudsætning for at få økonomi i anlæggene under de gældende vilkår. Gasproduktionen øges, og der opnås et modtage/behandlingsgebyr. Der findes dog affaldstyper, der er så højt ydende, at de opnår en pris i markedet. I stedet for at få et modtagegebyr betaler anlægsejeren en pris for affaldet. I alt behandler fællesanlæg og gårdanlæg tilsammen ca. 1,5 mio. tons gylle og 0,3 mio. tons affald.

Med disse anlæg er det lykkedes at forene energimæssige, landbrugsmæssige, miljømæssige og industrielle interesser.

Biogas er en vedvarende energikilde, der bidrager til reduktion af CO₂ emissionen. For landbruget opnås, at den afgassede gødning har større indhold af ammoniumkvælstof, der er tilgængeligt for planterne og ved fællesanlæggene fås en blandingsgødning med bedre forhold mellem fosfor og kalium i forhold i planternes behov. Fællesanlæggene udgør tillige en "gødningsbank", hvor det er muligt at foretage omfordeling af gødningen fra husdyr- til plantebedrifter evt. kombineret med, at lagrene placeres decentralt ved de marker, hvor gødningen anvendes. Det er tillige muligt at certificere gødningen, så indholdet af næringsstoffer er kendt.

Lugtgener og sygdomskim reduceres væsentligt gennem forgasningen, hvilket er en fordel både for landmanden og hans naboer.

For industrien ligger fordelene, dels i at det biologiske affald bliver omsat på miljøvenlig måde og næringsstofferne recirkuleres, dels i at industrien er leverandør af anlæggene og derved skaber økonomisk aktivitet og beskæftigelse.

Anlæggene løser således problemer både for erhvervslivet og for samfundet. Den samfundsmæssige interesse giver sig udslag i støtte til forskning og udvikling og en

støtte i form af afgiftsfritagelse for varme baseret på biogas samt et tilskud til el-produktion. Tidligere blev der også givet et anlægstilskud og kommunerne ydede en lånegaranti til fællesanlæggene.

På denne baggrund har der officielt været forventninger om, at der ville ske en større udbygning med biogasanlæg i Danmark. Men udbygningen sker i dag relativt langsomt. Der kan nævnes flere årsager hertil. Der henvises i den forbindelse til notat fra dec. 2004 udarbejdet af Fødevareøkonomisk Institut på foranledning af Miljøstyrelsen. Heri omtales en række barrierer som de projektgrupper, der rundt omkring i landet arbejder på at få etableret biogasfællesanlæg, også er stødt på.

I flere tilfælde har det vist sig vanskeligt eller umuligt at finde en placering af anlægget, der har kunnet opnå myndighedernes (og naboernes) godkendelse. Der er frygt for, at anlægget skaber lugtgener ligesom tung transport heller ikke er populært. Transport til og fra anlægget kan vanskeligt undgås, mens lugtgenerne kan reduceres væsentligt med passende foranstaltninger.

Markedet for affaldsprodukter er i dag presset, idet eksisterende anlæg lægger beslag på størstedelen af de mængder, der er til rådighed. Da det er vanskeligt at få økonomi i anlæggene uden tilførsel af affald, har mulighederne for anvendelse af energiafgrøder været overvejet og i det hele taget, om anlægget kunne drives på husdyrgødning alene.

Gennem vandmiljøplanerne, ammoniakhandlingsplanen og senest EU's Vandrammedirektiv til beskyttelse af overfladevand og grundvand og Habitatsdirektivet omkring naturbeskyttelse lægges der et stigende pres på landbruget for at sikre en miljørigtig udnyttelse af husdyrgødningen.

Overfor erhvervet kommer det til udtryk i harmonibestemmelser, ejerkrav til areal, krav om N-udnyttelse, krav til indretning af gødningsanlæg og miljøgodkendelse (VVM-tilladelse) ved udvidelser eller nyanlæg af husdyrbrug. De skærpede krav mærkes primært i husdyrtætte områder og i områder med miljøfølsomme arealer. Reguleringerne har hidtil overvejende været rettet mod kvælstof, men på det seneste er der tillige blevet stor opmærksomhed om fosforudnyttelsen.

Forståeligt nok er landmændenes interesse for biogasanlæg blevet knyttet sammen med disse miljøbetingende reguleringer, således som det også hidtil har været tilfældet. Men kravene er nu skærpet og er mere end blot at skaffe bedre lagringsfaciliteter

og bedre lokal omfordeling af næringsstoffer. Det drejer sig nu også om at få overskydende næringsstoffer ud af lokalområdet enten til anvendelse i andre områder med betydelig transportomkostninger til følge eller til bortskaffelse via afbrænding og/eller opgradering til kunstgødning.

Derved får områdets husdyrproducenter flere frihedsgrader i tilpasningen af deres bedrifter, hvilket generelt er vigtigt for at kunne opnå størrelsesøkonomiske fordele og sikre konkurrenceevnen. Der er med andre ord ønsket om, at et biogasanlæg samtidig udvikles til et egentligt gødningsbehandlingsanlæg. Hvordan det skal ske, har man endnu ikke fundet det endelige svar på.

De skærpede krav til næringsstofudnyttelsen kolliderer med at tilføre næringsstofholdigt biologisk affald. I forvejen er der måske for mange næringsstoffer i området og import af nye næringsstoffer forstærker afsætningsproblemerne. Det ville således være en afgørende fordel, hvis anlægget kunne drives alene på husdyrgødning.

Endelig er kravene til finansieringen af anlæggene blevet skærpet. Tidligere gav det offentlige et anlægstilskud, som indgik i finansieringen som egenkapital, hvorved resten kunne lånefinansieres eventuelt ved hjælp af en kommunegaranti. I dag skal interessenterne bag anlægget selv skaffe en langt større egenkapital, før man kan gøre sig håb om finansiering af resten via realkredit og/eller pengeinstitut. Det har naturligvis betydning, at tilskuddet til el-produktion nedsættes fra 60 til 40 øre pr. kWh efter 10 år, men det er næppe den altafgørende faktor. Det vil derimod være afgørende, at landmændene bag anlægget kan se de landbrugsmæssige fordele og synergieffekterne i relation til bedriftenes udvikling. Er disse fordele tilstrækkeligt store vil de finansielle barrierer givetvis også kunne nedbrydes.

1.2. Projektets formål

Projektets hovedformål er at identificere nye koncepter for biogasfællesanlæg, der ved integrering af egnet teknologi til forbehandling, recirkulering og separation, kan gøres økonomisk mindre afhængige af organisk affald og samtidig bidrage til løsning af problemer med overskydende næringsstoffer i lokalområder og sikre den veterinære standard i gødningshåndteringen. Lykkes det at udvikle sådanne koncepter vil centrale barrierer for bygning af nye biogasanlæg være ryddet af vejen.

1.3. Projektets arbejdsmetode

Der tages udgangspunkt i hidtidige anlægskoncepter for biogasfællesanlæg således, som de er beskrevet i rapport nr. 136, 2002. Samfundsøkonomiske analyser af biogasfællesanlæg – med tekniske og selskabsøkonomiske baggrundsanalyser samt rapport nr. 150, 2003 Økonomien i biogasfællesanlæg – udvikling og status medio 2002. Begge rapporter er udgivet af Fødevareøkonomisk Institut.

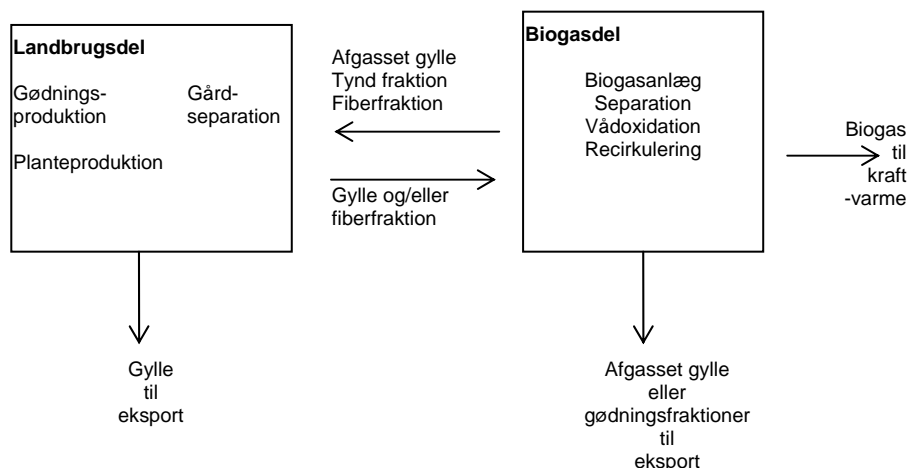
Med grundlag i viden fra laboratorieundersøgelser og forskellige afprøvninger af komponenter formuleres en række nye anlægskoncepter, der tilgodeser hovedformålet med projektet. Via systemanalyser, analyser af landbrugsoplande og næringsstofomsætning, økonomiske beregninger og veterinære risikoanalyser prioriteres de forskellige anlægskoncepter. Sideløbende udføres laboratorie- og pilotforsøg til underbygning af funktionsevne og dokumentation af koncepterne.

Formålet med dette Working Paper er at rapportere om resultaterne af de indledende analyser med sigte på at udvælge de mest lovende anlægskoncepter. Disse vil efterfølgende blive gjort til genstand for yderligere analyser både i laboratoriet og via systemmodeller og økonomimodeller og resultaterne afrapporteres i en hovedrapport fra projektet. For de koncepter, der er selskabsøkonomisk mest lovende, vil der også blive udført samfundsøkonomiske analyser.

Efter dette projekt kan der være behov for en afprøvning i større skala, der kan tænkes at ske via tilpasning af eksisterende anlæg eller via helt nye anlæg. Der vil i den forbindelse være en økonomisk risiko, men det er for tidligt at vurdere om den kan forventes dækket af erhvervet selv eller der er behov for en støtteordning.

Der formuleres en model over de systemer og koncepter, der ønskes belyst. Modellen har dels en landbrugsdel, dels en biogasdel som skitseret i figur 1.1.

Figur 1.1. Skitse af systemmodel



I modellens landbrugsdel beskrives husdyrproduktionen og den afledte gødningsproduktion inden for et oplandsområde af varierende størrelse. I området antages der at være balance mellem produktion og afsætning af gødning i henhold til harmonireglerne, som er defineret ved kvælstofproduktion og omsætning. Der vil derfor normalt forekomme en overgødsning med fosfor. I modellen forudsættes, at der skal være balance mellem tilførsel og planternes behov for samtlige næringsstoffer.

En sådan balance kan kun opnås ved at eksportere en vis mængde næringsstoffer ud af området. Dette kan ske direkte eller efter behandling i biogasanlægget. Tilførslerne til biogasanlægget kan være i form af gylle og/eller fiberfraktion efter gårdseparation. Den tynde fraktion fra gårdseparationen lagres og anvendes altid inden for området. Fra biogasanlægget modtager landbrugsområdet afgasset gylle, tynd fraktion og/eller en fiberfraktion.

Alt efter hvilke næringsstoffer og kombinationer af næringsstoffer der fraføres eller tilføres landbrugsområdet, vil der være behov for at supplere med handelsgødning, således at der kan opretholdes den samme planteproduktion uanset hvilket behandlingskoncept og eksport og import på næringsstofsiden der anvendes. Der søges altid

anvendt så meget næringsstof fra husdyrgødningen som muligt inden for området, så indkøb af handelsgødning minimeres.

I modellens biogasdel kombineres forskellige teknologier primært med sigte på at øge gasproduktionen, men også for at minimere transportomkostningerne ved eksport af næringsstoffer. Biogas antages at kunne afsættes til kraft-varme produktion med fuld afsætning for el og varme. Input til biogasanlægget vil være gylle, en kombination af gylle og fibre og alene en fiberfraktion fra en separation, der foretages på gårdene. Ideen med at tilføre fibre er at øge tørstoftilførslerne og dermed produktionseffektiviteten på biogasanlægget. Dette giver vidt forskellige masseflow for næringsstofferne som den valgte model holder styr på og afbalancerer.

Økonomien i de forskellige koncepter opgøres for landbrugsdelen og biogasdelen for at kunne forklare forskelle i indtjening og omkostninger og forskelle i incitamenter landmænd og biogasselskab imellem. Ved sammenlægning af de to økonomier kan det samlede systems rentabilitet vurderes. Der tages i denne sammenhæng ikke stilling til organisatoriske og finansielle problemstillinger og heller ikke til, hvordan eventuelle overskud skal fordeles mellem parterne. I første omgang er fokus rettet på potentielle merværdier for det samlede system og ved alternative udformninger.

2. Formulering af alternative systemer og koncepter

*Seniorforsker Henrik B. Møller, Danmarks JordbrugsForskning og
ph.d. Hinrich Hartmann, Bio-Centrum, DTU*

2.1. Grundprincipper til forøgelse af biogasudbytte

Udgangspunktet for en mere økonomisk biogasproces er det almindelige biogasfællesanlæg som tilføres hovedsageligt svinegylle og kvæggylle. Alle fællesanlæg til sætter i dag op til 25% organisk industriaffald med et højt biogaspotentiale for at opnå en økonomisk drift. Denne ressource er begrænset, mens der stadigvæk er et stort uudnyttet potentiale af gylle i Danmark. Biogaspotentialet af gylle ligger dog kun omkring 25 m³/t, som skyldes både et lavt indhold af organisk materiale (typisk under 5% ved svinegylle og under 8% ved kvæggylle) og et højt indhold af svært omsættelig ligninholdig fibermateriale. Nøglen til en økonomisk drift af fællesanlæggene på gylle er at øge dens biogaspotentiale til mere end 30 m³/t. De i det følgende beskrevne koncepter skal muliggøre dette efter to principper:

- (1) at opkoncentrere gyllens organiske biomasse
- (2) at forøge omsætning og dermed biogasudbytte af fibermateriale

Opkoncentreringen af biomassen sker igennem gylleseparation på gårdene så kun den faste fiberfraktion køres til biogasfællesanlæg. Ved denne separation opkoncentreres indholdet af det organiske materiale til ca. 25%, som medfører en forøgelse af biogaspotentiale til over 100 m³/t.

En forøget omsætning af fibermateriale kan opnås gennem

- (a) at forøge opholdstiden af fibermateriale i reaktoren gennem tilbageføring af efterseparerede fibre og/eller
- (b) gennem opspaltning af fibrenes ligninstruktur gennem en forbehandling.

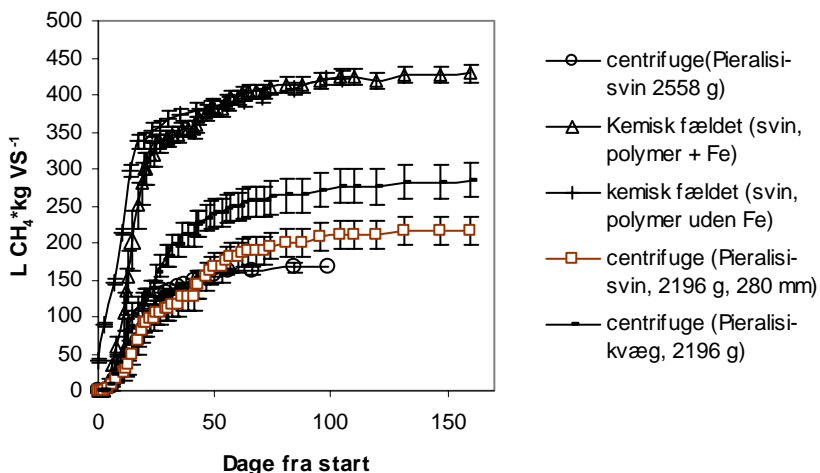
Opholdstiden i reaktoren forøges enten gennem et mindre flow i reaktoren, en større reaktorvolumen (forlængelse af den hydraulisk opholdstid, HRT) eller gennem tilbageføring af efterseparerede fibre (forlængelse af opholdstiden af det partikulære materiale, SRT).

De senere beskrevne koncepter implementerer disse principper enkeltvis eller i kombination. I det følgende beskrives resultater af forseparation og af vådoxidation og trykkogning som forbehandlingsmetoder.

2.2. Forseparation og gasudbytte af separeret gylle

Gasudbyttet ved batch udrådning af en række faste produkter er undersøgt. Det fremgår af figur 2.1 at gasudbyttet i fast materiale fra svinegylle efter centrifugering var 161-186 L CH₄/kg VS, mens i fast materiale fra kvæggylle var udbyttet 253 L CH₄/kg VS. Det er overraskende, at udbyttet i det faste materiale fra kvæg var højere end i de faste materialer fra svin i pågældende undersøgelse. Gasudbyttet i fast materiale fra svinegylle efter kemisk fældning var 392-404 L CH₄/kg VS, hvilket er signifikant højere end udbyttet efter centrifugering og mindst på samme niveau som usepareret svinegylle. Der må antages, at det skyldes enten at flygtige fedtsyrer – som ikke analyseres i VS bestemmelsen – overføres også til den faste fraktion eller at den tilsatte polymer til fældning øger biogasudbyttet.

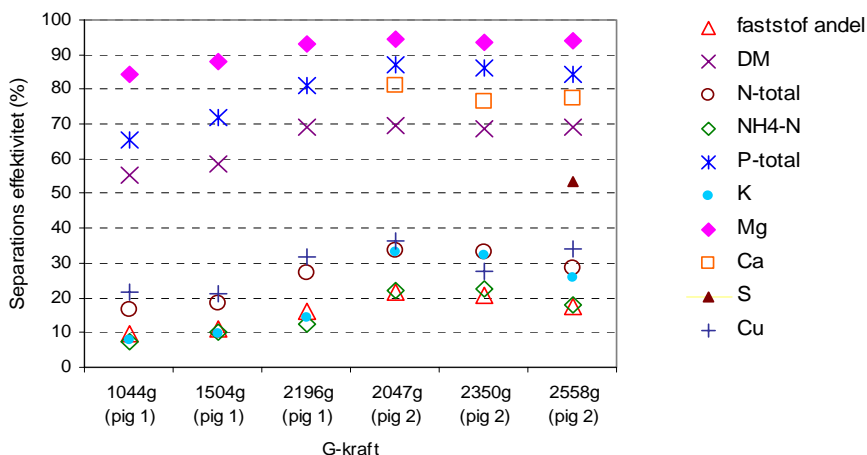
Figur 2.1. Metanudbytte ved batchudrådning af faste separationsprodukter



2.2.1. For-separation ved dekantering

Der er udført en række forsøg til blandt andet at vurdere indflydelsen af centrifugens indstillinger på separationseffektiviteten. I den forbindelse blev blandt andet G-kraftens indflydelse undersøgt med en Peralisi Jumbo 3 dekanter monteret på en mobil trailer. Hastigheden blev varieret mellem 2000 og 3130 rpm svarende til 1440 og 2558 G. Separationsresultaterne i forhold til G kraften er vist i nedenstående figur. Det kan ses, at stigende mængder næringsstoffer er overført ved stigende G kraft. Der blev anvendt 2 gylletyper i forsøget og med gylletype 1 blev mængden af næringsstoffer, der blev frasepareret øget indtil 2196 G, mens der ved gylle type 2 ikke var effekt af at øge G kraften udover de 2047 G.

Figur 2.2. G-kraftens indflydelse på separationseffektiviteten med en dekanter centrifuge. Gylletype 1 og 2 var slagtesvinegylle med højt TS indhold på hhv. 6,9 og 8,9%



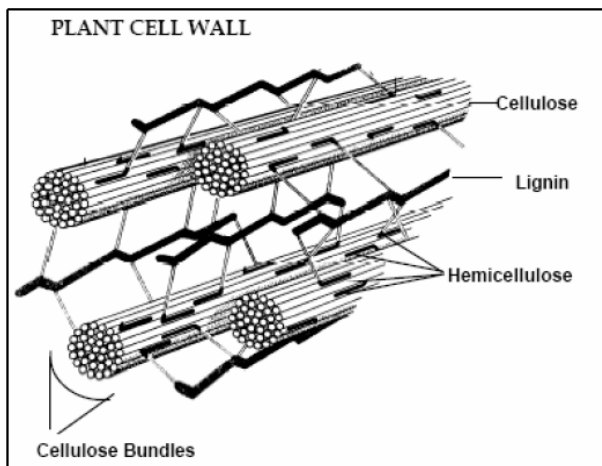
2.3. Forbehandling ved vådoxidation

2.3.1. Formål ved forbehandling

Vådoxidation integreres som forbehandlingsmetode til forøgelsen af biogasudbyttet af gyllens faste fraktion (fiberfraktion). Formålet af enhver forbehandling af fiberholdig biomasse er at nedbryde biomassens struktur, som er designet til at støtte planten og modvirke mikrobielle angreb. De dele af planter, som ikke er selve frøet/frugten, be-

står af forskellige makromolekyler: cellulose, hemicellulose og lignin, og derfor betegnes som den lignocellulære biomasse (figur 2.3). Cellulose og hemicellulose er polymere af suktermolekyler som kan fermenteres enten til ethanol eller omsættes til metan under anaerobe forhold. Den amorfte eller krystallinske struktur af makromolekylerne betyder dog allerede en vis hindring af nedbrydningen. Opspaltning af strukturen kræver en række enzymer med forskellige funktioner. Den største hindring for nedbrydning er dog ligninlaget, som er rundt om cellulosen og hemicellulosen og derved forhindrer enzymerne i at få kontakt hermed. Lignin er en polymer med en kompleks netstruktur som indeholder bl.a. polyaromatiske ringe. Det gør strukturen stiv, giver styrke og den aromatiske natur er anti-bakteriel. Ligninmolekylet kan ikke nedbrydes under anaerobe forhold, men sidekæder og ender af strukturen kan nedbrydes i begrænset omfang. For at gøre den indkapslede cellulose og hemicellulose tilgængelig for mikroorganismer er det derfor nødvendigt at bryde ligninlaget.

Figur 2.3. Plantevæggestruktur (Shleser, 1994)



Forskellige forbehandlingsmetoder er blevet afprøvet. De forskellige metoder kan inddeles i fysiske, kemiske og biologiske metoder. Fysiske metoder er baseret på en temperaturforøgelse eller en metode til mekanisk nedbrydning/neddeling af ligninmolekylet. Tilsætning af syre eller base er de mest afprøvede kemiske metoder som fører især til en opsvulmning af materialet. Ved biologiske metoder tilsættes enten enzymer eller bestemte mikroorganismer, som er i stand til at angribe lignin eller nedbryde andre dele af biomassen.

Hver enkelt forbehandlingsmetode har sine fordele og ulemper og omkostningen af forbehandlingsmetoden må ikke overstige gevinsten ved det højere biogasudbytte. Efter at der gennem en årrække er blevet forsket på DTU i forskellige forbehandlingsmetoder med det formål at lave bioethanol hhv. biogas af lignocellulære biomasse er der udviklet en brugbar proces, vådoxidationsprocessen, som kan åbne lignin og gøre cellulosen og hemicellulosen tilgængelig.

2.3.2. Vådoxidationsprocessen (patentansøgning indleveret af Cambi Bioethanol)

Vådoxidation er en fysisk-kemisk forbehandlingsmetode som fører til brydning af de beskyttende ligninlag og af cellulosestrukturen så byggestenene af cellulosen – sukkerne – bliver tilgængelig til omsætning gennem mikroorganismene.

Vådoxidationens effekt er baseret på fire forskellige parametre:

1. Høj temperatur
2. Højt tryk
3. Oxidation gennem tilsætning af et iltningsmiddel (ilt, hydrogenperoxid eller luft)
4. Pludselig trykfald (flash)

Den nyudviklede proces, som er udviklet af Cambi Bioethanol sammen med Bio-centrum-DTU, består principielt af tre dele: et termisk hydrolysetrin, et vådoxidationstrin og et flashttrin. Processen kan håndtere helt op til 30% tørstof, og resulterer i meget høje sukkerudbytter, hvis materialet efterfølgende enzymbehandles (op til 95% af det maksimalt mulige). Ca. halvdelen af ligninen ender som lavmolekylære ligninprodukter. Forsøg i laboratoriet har vist, at disse kan omsættes til metan. Vådoxidationsprocessen vil derfor give mulighed for en bedre omsætning af hele lignocellulosedelen.

Der skal tilføjes, at vådoxidationens store fordel i forhold til andre forbehandlingsmetoder til åbning af lignocelluloseholdige biomasse som for eksempel syrehydrolyse er, at den danner færre biprodukter som hæmmer en efterfølgende fermentering til bioethanol. Tilsætning af natriumkarbonat (Na_2CO_3) har i nogle tilfælde vist at ned-

sætte dannelsen af hæmmende stoffer til fermentering (Klinke 2002). Hæmning af biogasprocessen efter vådoxidation er indtil videre kun meget lidt undersøgt.

2.3.3. Resultater af batch og reaktorforsøg

Ændring af bionedbrydeligheden af biomassen gennem vådoxidation og dens efterfølgende omsætning til biogas kan måles ved test af det behandlede i batch udrådning eller reaktorforsøg. Herved måles alle synergistiske effekter af vådoxidationen på biomassen og det endelige biogasudbytte.

Der er blevet gennemført en række batch og reaktor forsøg med kvæggylle, svinegylle og den faste fraktion før og efter vådoxidationsforbehandling (tabel 2.1). Biogaspotential i batch forsøg måles normalt efter ca. 15 dages inkubationstid hvis der ikke er tegn på en lag-fase. Denne værdi kan sammenlignes med udbyttet i en biogasreaktor ved en opholdstid på 15 dage (som er almindelig ved termofile biogasprocesser). Ved tegn på længere adaptationstid til substratet i batch forsøg, som er udtrykt ved en forlænget lag-fase, er værdien af biogaspotential målt efter ca. 15 dage efter begyndelsen af den eksponentielle vækstfase. Dermed tages hensyn til, at processen i en kontinuert reaktor tilvænnens substratet over tid.

Forsøgene leder hovedsageligt til tre konklusioner:

1. Den forøgede effekt er større på fiberfraktionen end på usepareret gylle
2. Den forøgede effekt er større på udrådnat materiale end ”frisk” materiale
3. Forøgelsen er større i reaktorforsøg end i batchforsøg

At vådoxidationen har en større effekt på fiberfraktionen hhv. udrådnat materiale tyder på at vådoxidationen har hovedeffekten på det lignocellulære partikulær materiale, som enten (1) findes overvejende i fiberfraktionen eller som (2) er tilbage efter udrådning i biogasprocessen. At reaktorforsøg viser en større forøgelse tyder på at der åbenbart sker en hæmning i batch forsøg som mikroorganismer i reaktorer hurtigere kan adaptere sig til.

I forhold til vådoxidation var forøgelsen ved 73°C forhydrolyse omkring 10%.

Tabel 2.1. Oversigt over biogaspotentialmålinger før og efter vådoxidation og gennem forhydrolyse ved 73°C

Set-up	HRT	Biogasudbytte før ($\text{ICH}_4/\text{g-VS}$)	Biogasudbytte efter ($\text{ICH}_4/\text{g-VS}$)	Forøgelse
Kvæg/svin/slam + 73°C forhydrolyse	Batch 14 d	270	294	8,7%
+ vådoxidation	Batch 14 d	270	341	26%
Kvæggylle + vådoxidation	Batch 28 d	249	316	27%
	Reaktor 15d	139	239	71%
Separeret svinegyl- le + fast fraktion (DTU)	Batch 14d	300		
Separeret svinegyl- le + fast fraktion (DJF)	Batch 50d	180		
Separeret svinegyl- le + fast fraktion (DJF)	Batch 50d	240		
Dybstrøelse + vå- doxidation	Batch 14 d	78	155	98%
Udrådnet fibre (kvæg/svin/slam) + vådoxidation	Batch 12 d	112	170	51%
Fibre (kvæggylle) + vådoxidation (væskefraktion)	UASB Reaktor 2,5d		221	

Målingerne af biogaspotential viste en stor forskel mellem forskellige prøver af den faste fiberfraktion og af den gylle som er blevet brugt i reaktorforsøg i forhold til hvad der blev brugt i batch forsøg. Det tyder på at sammensætningen og dermed biogaspotential varierer meget forskellige gylleprøver imellem.

2.3.4. Omkostninger ved processen

Vådoxidationsprocessen er stadigvæk i udviklingsfasen. Forsøgsreaktoren på DTU har et volumen af 3,8 l og er afprøvet til at behandle materiale med et tørstofindhold (TS) af op til 30 %. DTU er p.t. i gang med at bygge en reaktor i pilotskala. Økonomien af processen i stor skala kan derfor kun angives med stor usikkerhed.

Investeringsomkostninger er indtil videre beregnet til omkring 30 mio. DKK ved en kapacitet af 25 t-TS/d. Driftsomkostninger er hovedsagelig afhængige af forbrug af oxidationsmiddel, kobling af varmesystemer til opvarmning af processen og driftssikkerhed af anlægget. Det er især mængden af tilsat ilt som udgør en nøgleparameter til driftsomkostninger. Ved første skøn kunne driftsomkostninger ligge mellem 100 – 150 DKK/t-TS. Formålet ved videreudvikling af processen går derfor i retning af at indstille parametre sådan, at processen bliver både billig og samtidig får en stor effekt mht. forøgelsen af biogasudbytte.

2.4. Trykkogning og kemisk behandling af dekanteret gylle

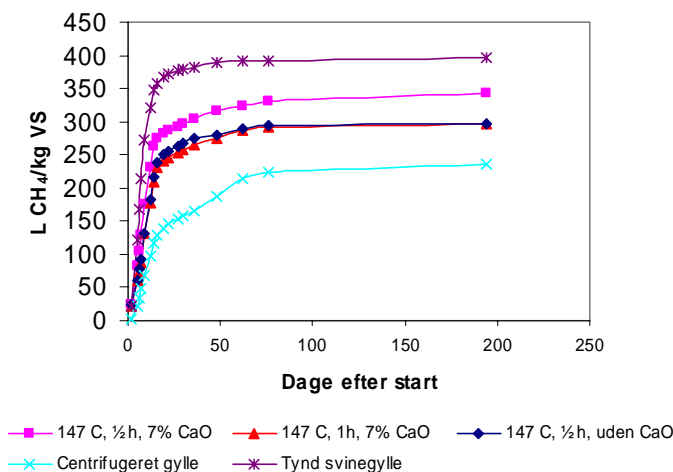
Der er udført et forsøg med dekantering, trykkogning i praksis og i laboratoriet mhp at undersøge muligheden for at øge gasudbyttet i den faste fraktion fra gylle. I de praktiske forsøg blev GFEs normale trykkogningspraksis anvendt, ved en temperatur på 147°C i en ½-1 time med tilsætning af 4-7% brændt kalk (CaO). Der blev endvidere kørt forsøg uden kalk tilsætning (se tabel 2.2). I laboratoriet blev der udført en række kombinationer af temperatur, tid og kalktilsætning som angivet i tabel 2.2.

Tabel 2.2. Forsøgsplan i fuldskala med den faste fraktion af svinegylle produceret med dekanter centrifuge (Pieralisi) på GFEs anlæg på O. Løjstrup angivet med (F) og i laboratoriet på Forskningscenter Bygholm angivet med (X)

Brændt kalk (CaO)	20°C	T1, 127°C			T2, 147°C			T3, 167°C		
	23 dage	R ₁ , ½ time	R ₂ , 1 time	R ₃ , 2 time	R ₁ , ½ time	R ₂ , time	R ₃ , 2 time	R ₁ , ½ time	R ₂ , 1 time	R ₃ , 2 time
Ingen			X		F	X			X	
1% CaO			X			X			X	
4% CaO	X	X	X	X	F, X	X	X	X	X	X
7% CaO						F, X				

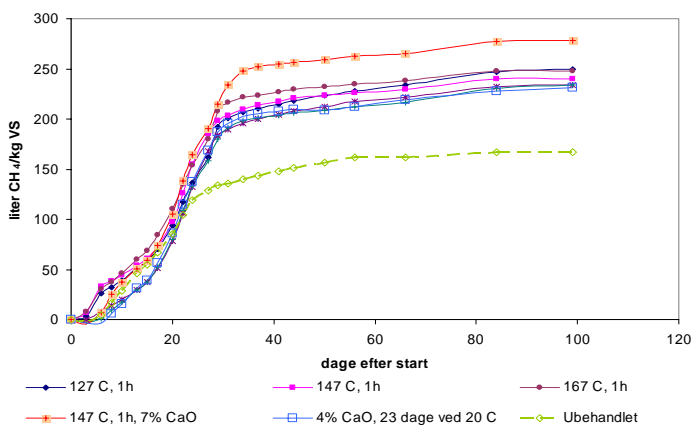
Af praktiske årsager blev der kun udført få forsøg med fuldskala trykkogningen. Methan udbytte ved batchudrådning af de ubehandlede fibre og de trykkogte og kemisk behandlede fibre er vist i figur 2.4. De ubehandlede fibre giver et udbytte på 236 l CH₄/kg VS medens de trykkogte giver mellem 297-342 l CH₄/kg VS, hvilket svarer til en stigning på 26-44%. Den tynde svinegylle, som indgår i diagrammet, er medtaget fordi den blev brugt til at ”skylle” fibre ud af trykkogeren efter endt behandling og indgik derfor i den biomasse der blev udrådneth i batch. Der blev efterfølgende korrigeret for det udbytte der stammede herfra.

Figur 2.4. Batch udrådning af ubehandlede gyllefibre, tynd svinegylle og trykkogt materiale på anlægget på O. Løjstrup



Ved laboratorie forsøgene med trykkogning blev en række kombinationer af temperatur, tid og tilsætning af brændt kalk forsøgt. I figur 2.5 er vist et uddrag af resultaterne fra batch udrådning. De ubehandlede fibre gav et udbytte på 162 l CH₄/kg VS medens de behandlede gav mellem 194-265 l CH₄/kg VS, hvilket svarer til en stigning på 20-64%. Der blev dog ikke fundet nogen statistisk signifikant forskel på de forskellige behandlinger. Det er også bemærkelsesværdigt, at behandling med brændt kalk over lang tid giver en effekt på samme niveau som trykkogning. Der er dog behov for at eftervise dette nærmere i kommende forsøg. I forsøget med laboratorie trykkogningen var udbytte niveauet generelt lavere end i forsøgene i praksis. Dette gælder også den ubehandlede fiber og årsagen hertil kendes ikke, men på forløbet af udrådningen tyder det på, at der i forsøget med laboratorie trykkogning har været hæmning i starten af forsøget. I det andet forsøg var der stor produktion fra starten, hvilket tyder på at det anvendte inoculum i det første forsøg har været mere aktivt. Endvidere kan det skyldes, at NH₃ niveauet er reduceret i forsøgene i praksis, fordi der under processen lukkes damp ud.

Figur 2.5. Batch udrådning af ubehandlede gyllefibre og trykkogt materiale fra laboratorie trykkoger



2.5. Recirkulering

I de fleste nye konceptforslag anvendes en form for recirkulering. Der skal skelnes mellem recirkulering af den faste fraktion (fibre) og en recirkulering af procesvand for at nedsætte tørstofkoncentrationen i det tilførte materiale. Ved alle disse koncepter anvendes en dekantercentrifuge til formålet. Dekantercentrifugen installeres på biogasanlægget og er egnet til at behandle store mængder i kontinuert drift.

Recirkulering af procesvand er nødvendig for at nedsætte tørstofindhold i det tilførte materiale til omkring 10% så materialet er pumpbart. I andre koncepter vil denne recirkulering ikke være nødvendig, fordi der anvendes vådoxidert materiale der har en meget mere flydende konsistens. Det vil være muligt at pumpe materialet med de samme pumper som anvendes til gylle på biogasanlæg.

2.6. Ammoniumkoncentration

I tabel 2.3 fremgår beregnede indhold af NH_4 i reaktoren ved de senere beskrevne koncepter. Koncept 1-4 forventes at kunne køre uden nævneværdig hæmning. Koncept 5-9 har en ammonium koncentration over 6 g/l og i en termofil proces vil det give anledning til hæmning og vil være på grænsen af det mulige. Hvis processen kan bringes til at kunne fungere, vil det afgjort give anledning til en reduceret gasproduktion.

tion og behov for længere opholdstid, da det ikke kun er metan trinnet, men alle trin i processen der vil blive hæmmet. Det vil endvidere være meget afgørende hvilken temperatur der anvendes. Det vil være nødvendigt at ligge i den nedre ende af den termofile skala. Ved mesofil drift vil processen sikkert kunne fungere uden betydelig hæmning.

Tabel 2.3. Estimerede NH₄ indhold ved de forskellige koncepter

Koncept	NH ₄ g/l
1	4.4
2	4.4
3	4.4
4	4.6
5	4.6
6	6.9
7	6.9
8	6.9
9	6.9

2.7. Oversigt over effekter af forskellige behandlingsmetoder

Sammen med resultater fra tidligere forsøg på DTU og DJF og fra litteraturen fremgår effekten af forskellige tiltag til at øge gasproduktionen i tabel 2.4. De forskellige metoder virker enten ved en oplukning af tungtomsætteligt materiale eller ved en forlænget opholdstid af langsomt omsætteligt organisk materiale. Det er relevant at overveje, hvilken metode der giver mest for indsatsen, og hvad lønsomheden er ved brug af flere metoder samtidigt. Det kan dog godt tænkes at flere metoder er lønsomme samtidig, da de jo hver især har deres begrænsninger. Effekten vil dog næppe være additiv.

Tabel 2.4. Estimerede effekter af tiltag til at øge gasproduktionen

Produkter	Termofil udrådning	Vådoxidation	Lang SRT	Lang HRT	Findeling	Serie udrådning
	l/kg VS	-----% ekstra udbytte -----				
Svinegylle	300	+20%	+10%	+10%	+5%	+15%
Kvæggylle	250	+20%	+12%	+12%	+6%	+16%
Separeret svin (kemisk fældet)	300	+30%	+10%	+10%	+5%	+15%
Separeret svin (centrifuge)	200	+30%	+15%	+15%	+7%	+17%

2.8. Konceptbeskrivelser

Der undersøges i alt 8 forskellige scenarier til optimering af gyllebehandling på biogasfællesanlæg som bliver sammenlignet med et referencescenario.

Der skelnes mellem 8 nye scenarier i forhold til referencescenario **koncept 1** (usepareret og ikke forbehandlet gylle – 75% svinegylle + 25% kvæggylle).

Koncept 2+3: Efterseparation og tilbageføring af fibre (uden + med vådoxidation af fiberfraktion).

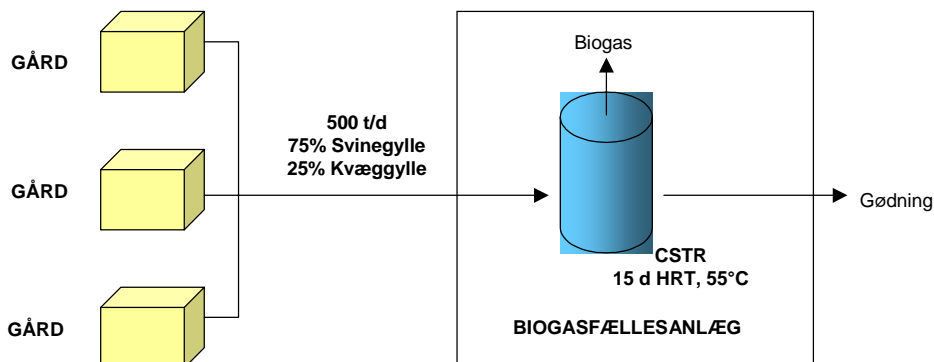
Koncept 4+5: Gylleseparering på nogle gårde og samudrådning med usepareret gylle (kombineret med tilbageføring + vådoxidation af fiberfraktionen).

Koncept 6-9: Gylleseparering på alle gårde og behandling af den tykke fraktion på biogasfællesanlæg (med enten recirkulering af procesvand eller vådoxidation af fiberfraktion).

På baggrund af egnethed og effektiviteten af de forskellige separeringsmetoder er kemisk fældning udvalgt til separering på gårdniveau, mens der anvendes dekanter-centrifuge til efterseparering på biogasanlæg.

Referencescenario (koncept 1) er et konventionelt biogasanlæg bestående af en fuldt omrørt reaktor (CSTR = continuous stirred tank reactor) med et opholdstid (HRT = hydraulic retention time) af 15 dage ved termofil temperatur (55°C), som behandler 500 t/d af en blanding af 75% svinegylle og 25% kvæggylle. Tilføringen af for eksempel slam og organisk industriaffald vil ikke blive medregnet, fordi hovedformål er at undersøge en forøget omsætning af de tung omsættelige dele i gyllen.

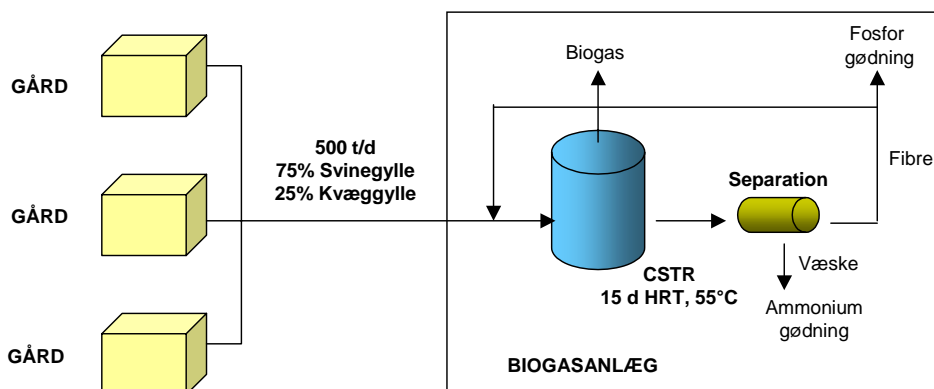
Koncept 1. Referencescenario



Koncept 2: Implementering af gylleseparation som efterseparation og tilbageføring af fiberfraktionen

Konceptet er udelukkende en ændring af driften på biogasanlæg uden konsekvenser for den enkelte gård. En (delvis) tilbageføring af udrådne fibre fra effluenten af den fuldt omrørt reaktor ved en efterseparering kan forøge omsætningen af fibre og derved forøge biogasudbyttet.

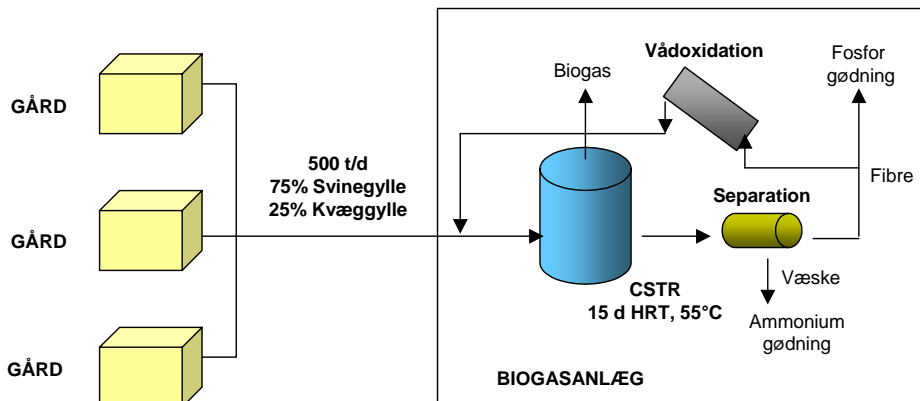
Koncept 2. Efterseparation og (delvis) tilbageføring af fibre



Koncept 3: Vådoxidation af den tilbageførte fiberfraktion

Konceptet er det samme som koncept 2, men fiberfraktionen som tilbageføres i reaktoren bliver derudover vådoxideret. Ved vådoxidationen ødelægges den lignocellulære struktur af de tungt omsættelige fiberdele som forøger nedbrydeligheden og biogasudbyttet betragteligt.

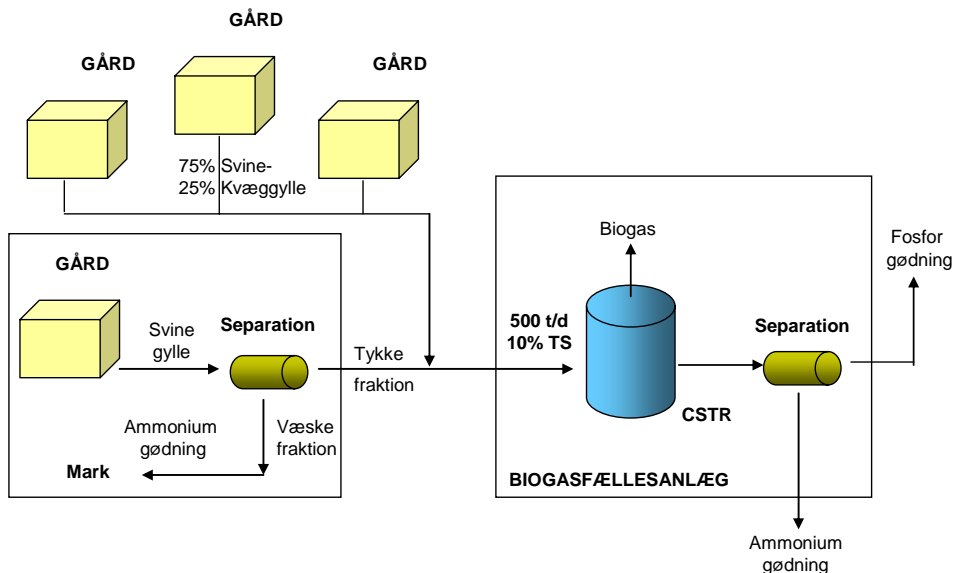
Koncept 3. Vådoxidation af tilbageførte fibre



Koncept 4: Separering af den tykke fraktion på enkelte gårde og behandling af denne fiberfraktion i samudråkning med gylle på biogASFællesanlæg

Blandingsforholdet mellem den tykke fraktion og den useparererede gylle er sådan at det tilførte blanding har et tørstofindhold på 10% og der behandles stadigvæk 500 t/d på anlægget. Det svarer til at 50% af alt svinegylle separeres og derudover udvides oplandet til det enkelte biogasanlæg og der behandles omkring 750 t gylle af dyr per dag. På biogasanlægget eftersepareres gylle i en fiber- og en væskefraktion.

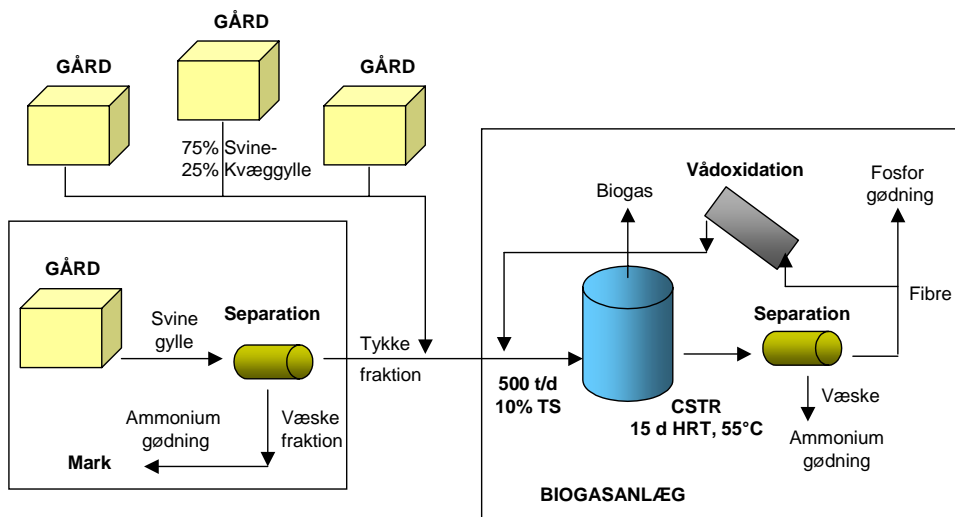
Koncept 4. Separering på enkelte gård og samudrådning af fiberfraktionen



Koncept 5: Samudrådning af fiberfraktionen fra enkelte gårde og vådoxidation af den tilbageførte fiberfraktion

Dette koncept er det samme som koncept 4, men der implementeres også vådoxidationen af de tilbageførte fibre ligesom i koncept 3.

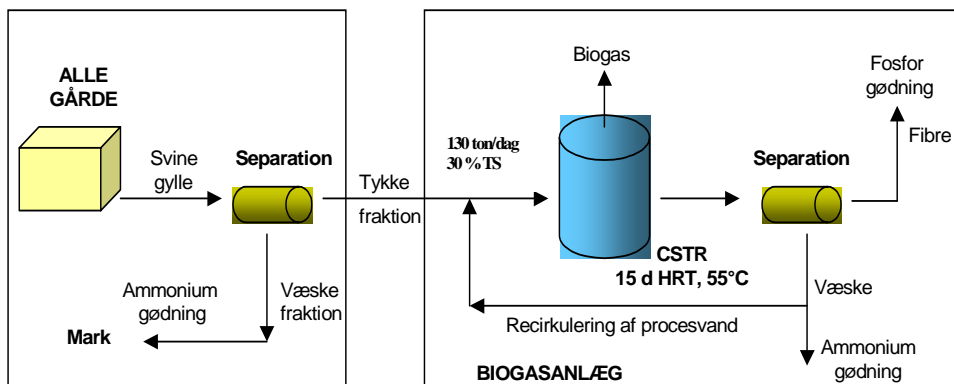
Koncept 5. Samdråkning af fiberfraktionen og vådoxidation af tilbageførte fibre



Koncept 6: Separering af den tykke fraktion på alle gårde og behandling på biogasfællesanlæg med recirkulering af procesvand

Dette koncept er en videreførelse af koncept 4, men gyllen separeres på alle gårde og udelukkende den tykke fiberfraktion behandles på biogasfællesanlæggene, mens den tynde fraktion forbliver på gårdene. Dette vil medføre en ændring i biogasprocessen, hvor det vil være nødvendigt at tilbageføre væskefraktionen efter omsætningen for at fortynde fiberfraktionen til et tørstofindhold på 10%. Oplandet øges i forhold til koncept 5. Mængden som tilføres anlægget er dog betydeligt mindre, og reaktorstørrelsen tilpasses svarende til at den tykke fraktion opblandes med procesvandet til et tørstofindhold i influenten af 10%. Beregningen laves på grundlag af, at kun svinegylle separeres og dens fiberfraktion tilføres anlægget.

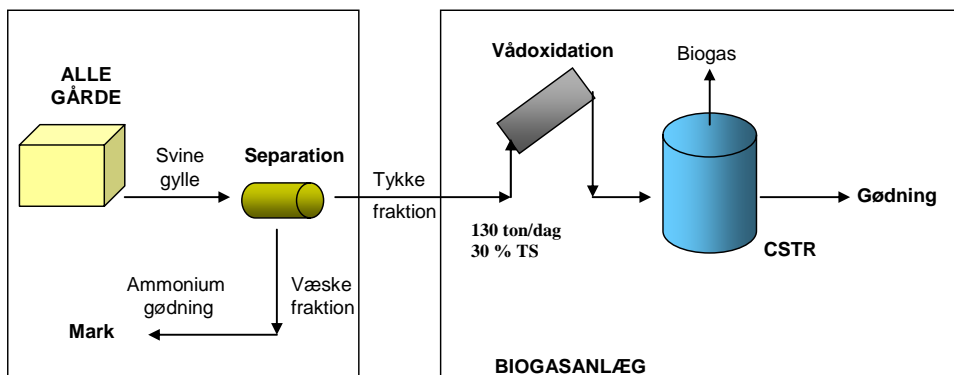
Koncept 6. Separering på alle gårde og behandling udelukkende af fiberfraktionen



Koncept 7: Behandling af fiberfraktionen efter vådoxidation i almindelig CSTR reaktor

Ved dette koncept forbehandles den tilførte fiberfraktion fra alle gårde vha. vådoxidationen før den tilføres en fuldt omrørt reaktor. Der forventes ikke, at dette system kræver tilbageførsel af procesvand, fordi biomassen har en flydende og meget homogen konsistens efter vådoxidationen, selvom tørstofindholdet er næsten det samme. Det kan p.t. ikke vurderes hvilken konsistens effluenten fra reaktoren har, og om det er muligt at fraseparere en fosforrig fraktion. Det mest sandsynlige er, at hele effluenten anvendes som gødningsprodukt usepareret. Vådoxidationen af hele det tilførte materiale vil derudover have en steriliserende effekt som vil være en fordel i relation til det hygiejniske aspekt.

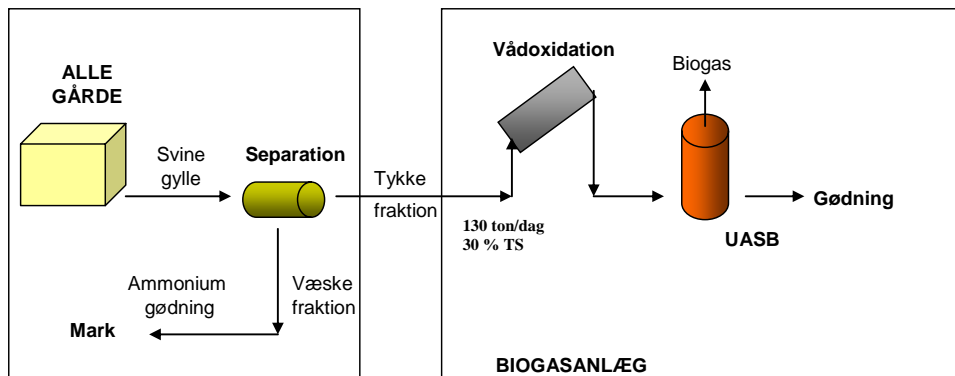
Koncept 7. Vådoxidation af fiberfraktionen fra alle gårde



Koncept 8: *Behandling af fiberfraktionen efter vådoxidation i UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) reaktor*

Konceptet er ligesom koncept 7, men i stedet for en almindelig CSTR reaktor anvendes en UASB reaktor til behandling af de vådoxiderede fibre. Dens særegenhed er at den aktive biomasse er klumpet sammen i såkaldte granula som medfører at mikroorganismerne ikke udvaskes fra reaktoren ved et stort flow gennem reaktoren. Det betyder, at den hydrauliske opholdstid (HRT) kan formindskes til omkring 1 dag (i forhold til mindst 10 dage i en fuldt omrørt reaktor) som betyder at volumenet af reaktoren er meget mindre end ved anvendelse af en CSTR reaktor.

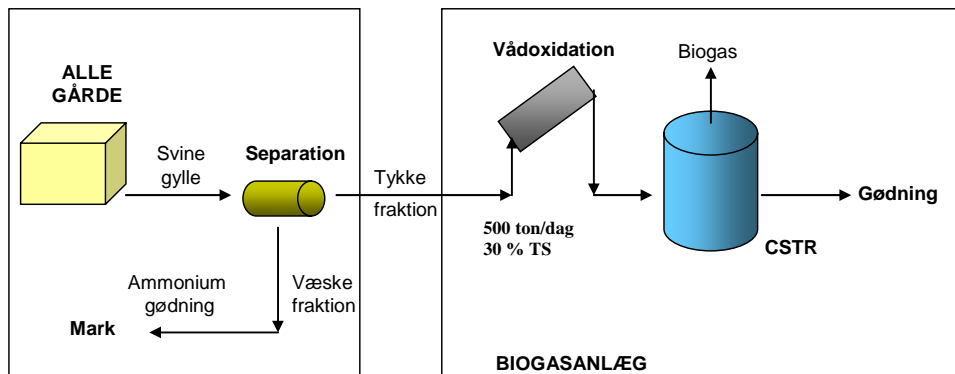
Koncept 8. Vådoxidation af fiberfraktionen fra alle gård og efterfølgende behandling i UASB reaktor



Koncept 9: Udvidelse af oplandet til en behandling af 500 t/d vådoxideret fiberfraktion

Ved dette scenario antages, at der kan behandles 500 t/d af vådoxideret materiale i en fuldt omrørt reaktor af samme størrelse som anvendes i koncept 1 – 6. Fordi fiberfraktionen har et TS indhold på omkring 30% i forhold til 6,6% af useparerede svinegylle og en del af tørstoffet forbliver på gården ved separering, vil det svare til at den behandlede mængde gylle af dyr og dermed oplandet kan forøges ca. 7,5 gange i forhold til referencen.

Koncept 9. Behandling af 500 t vådoxiderede fiberfraktion per dag i en CSTR Reaktor



Tabel 2.5 giver et overblik over konfigurationerne i de enkelte koncepter samt den forventede metanproduktion per år og metanudbytte per m³ biomasse som tilføres biogasanlægget.

Tabel 2.5. Oversigt over de forskellige koncepter der er udført massebalancer på og som undersøges i den driftsøkonomiske analyse

Koncept	Tilført biomasse	Tilført mængde	Separation	TS _{in}	Reaktortype	Recirkulering af fibre	Vådoxidation	Σ Metanproduktion (mio. m ³ CH ₄ /år)	Metanudbytte (m ³ CH ₄ /m ³ biomasse)
1 (ref.)	75% svinegylle 25% kvæggylle	500 t/d	-	7,6%	CSTR	-	-	2,9 (2,7-3,1)	16,0 (14,8-17,2)
2	75% svinegylle 25% kvæggylle	500 t/d	Efterseparering	7,6%	CSTR	+	-	3,4 (3,2-3,6)	19,0 (17,8-20,3)
3	75% svinegylle 25% kvæggylle	500 t/d	Efterseparering	7,6%	CSTR	+	+ Af recirk.fibre	4,4 (4,2-4,6)	24,3 (23,1-25,5)
4	75% svinegylle 25% kvæggylle	500 t/d = 750 t ^a /d	Forseparering af 50% af svinegylle	10%	CSTR	-	-	4,0 (3,7-4,3)	21,3 (19,6-22,9)
5	75% svinegylle 25% kvæggylle	500 t/d = 750 t ^a /d	Forseparering af 50% af svinegylle	10%	CSTR	+	+ Af recirk.fibre	5,7 (5,4-6,0)	30,4 (28,7-32,0)
6	100% svinegylle	130 t/d	Forseparering af alt svinegylle, efterseparering af procesvand	10% ^a	CSTR	-	-	3,4 (3,2-3,6)	72,0 (67,2-76,8)
7	100% svinegylle	130 t/d	Forseparering af alt svinegylle	30%	CSTR	-	+ Af hele den tilførte fiber- fraktion	4,6 (4,3-4,8)	96 (91-101)
8	100% svinegylle	130 t/d	Forseparering af alt svinegylle	30%	UASB	-	+ Af hele den tilførte fiber- fraktion	4,6 (4,3-4,8)	96 (91-101)
9	100% svinegylle	500 t/d	Forseparering af alt svinegylle	30%	CSTR	-	+ Af hele den tilførte fiber- fraktion	17,3 (16,5-18,2)	96 (91-101)

^a Med recirkulering af procesvand.

2.9. Massebalancer

I tabel 2.6 angives indholdet af næringsstoffer i de husdyrgødningssprodukter der udføres separation og beregninger for. Husdyrgødningen er normal slagte- og malkekvæg gylle. Det antages, at der i beregninger uden for-separation indgår 75% svinegylle og 25% kvæggylle, mens der i beregningerne med for-separation af gylle udelukkende separeres svinegylle.

Tabel 2.6. Nøgletal for husdyrgødning inden separation og afgasning

	Kategori	Slagtesvin	Malkekøer tung race
		Delvis spaltegulv	Sengestald med Spaltegulv
Gylle ab lager	Tons/dyr	0,49	22,81
Antal/DE	Dyr/DE	36	0,85
Gylle/DE	Tons	17,64	19,3885
Tørstof	g/kg	66	103
VS	g/kg	52,8	82,4
N	g/kg	5,05	5,47
NH ₄ -N	g/kg	3,78	3,29
P	g/kg	1,21	1,02
K	g/kg	2,36	5,28

I tabel 2.7 er indholdet af næringsstoffer ved for-separation af svinegylle ved hhv. dekanter centrifuge og kemisk fældning angivet.

Tabel 2.7. Nøgletal for faste produkter og væske efter for-separation af svinegylle ved hhv. dekanter centrifuge og kemisk fældning

	Rågylle	Væske		Koncentrat	
		----- Kg/ton -----			
		Centrifuge	Kemisk fældning	Centrifuge	Kemisk fældning
Volumen	1000	868	824	132	176
Tørstof	66,00	30,41	16,02	300	300
Organisk TS	52,80	24,33	12,82	240	240
Total N	5,66	4,89	4,46	10,72	11,26
NH ₄ -N	4,24	4,24	4,24	4,24	4,24
Fosfor total	1,51	0,70	0,37	6,86	6,86
Kalium	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69

Separations effektivitet (%)		
	Dekanter	Kemisk fældning
Tørstof	60,00	80,00
Organisk TS	60,00	80,00
Total N	25	35
NH ₄ -N	13,2	26,4
Fosfor total	60	80
Kalium	13,2	26,4

Separations-effektiviteten i det afgassede produkt er udregnet i forhold til tørstofindholdet efter følgende formler:

$$\text{Vægt: } y = 0.2665 \cdot \text{TS\%} - 0.6632$$

$$\text{Tørstof: } y = 0.3381 \cdot \text{TS\%} + 41.824$$

$$\text{Fosfor total: } y = 0.2483 \cdot \text{TS\%} + 59.727$$

$$\text{Kvælstof total: } y = 0.428 \cdot \text{TS\%} + 7.134$$

Udregningerne for indholdet er overvejende baseret på (Møller et al.2002).

Resultaterne fra batch og reaktorforsøg (tabel 2.1) danner grundlag for modelberegninger mht. udregning af gasproduktion, tørstofindhold m.m. ved afgasningen i de forskellige koncepter. De enkelte værdier og deres variation er angivet i tabel 2.8.

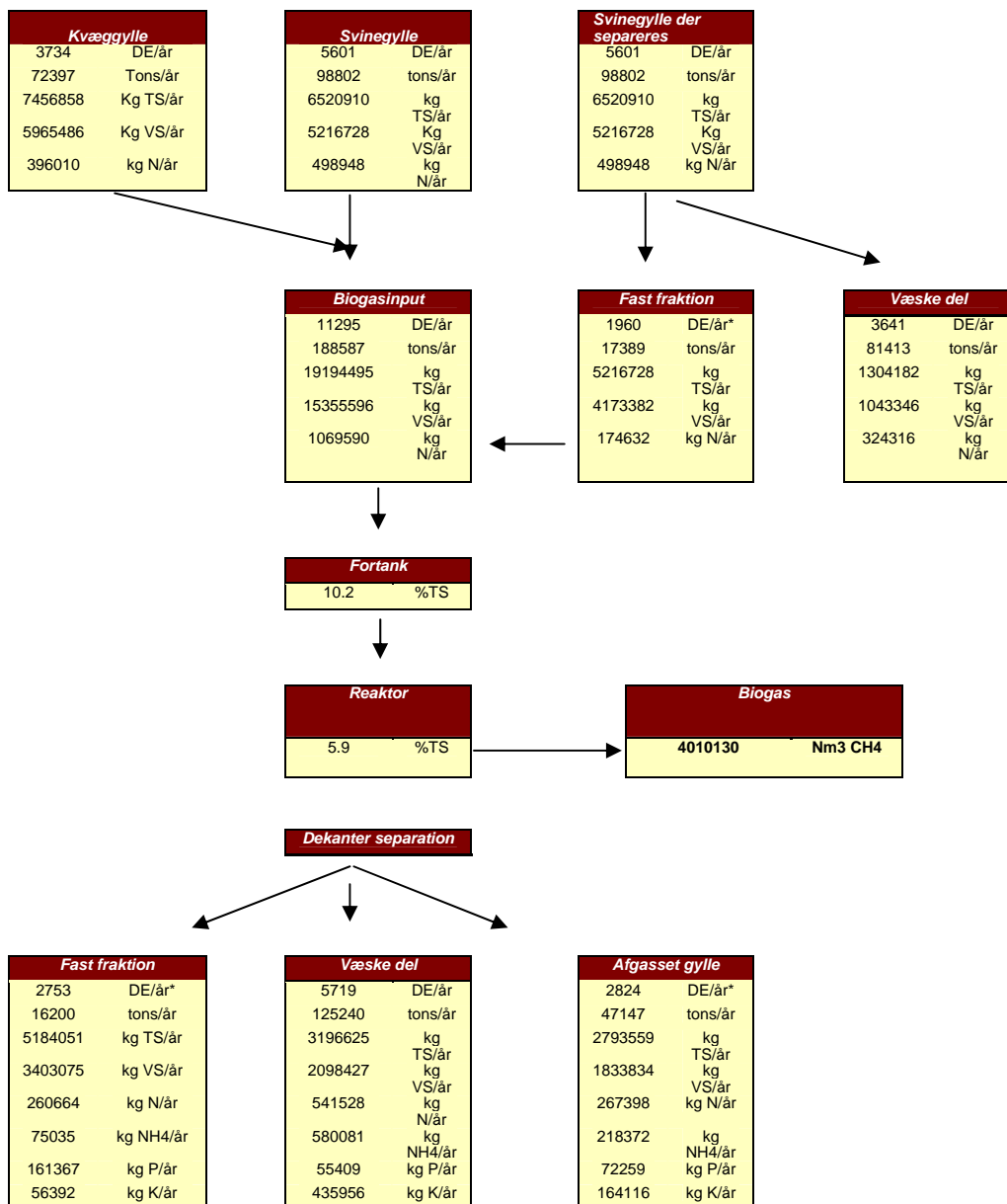
Tabel 2.8. Forudsætninger for model beregninger

	CH ₄ /kg VS	TS	VS oms.
Svinegylle	0,30±0,02	6,60%	60%
Svinegylle rec. af fiber	0,35±0,02	6,60%	70%
Svinegylle rec. + vådox. af fiber	0,40±0,02	6,60%	80%
Fast fraktion centrifuge	0,20±0,02	30%	40%
Fast fraktion centrifuge	0,40±0,02	30%	80%
Fast fraktion kemisk fældning	0,30±0,02	20%	60%
Fast fraktion kemisk fældning	0,40±0,02	30%	80%
Kvæggylle	0,20	10,3%	40%
Kvæggylle rec.af fiber	0,25	10,3%	50%
Kvæggylle rec. + vådox. af fiber	0,40	10,3%	80%

I tabel 2.9 er vist et eksempel på beregning af massebalancen for koncept 4.

I tabel 2.10 er massebalancerne af mængder og næringsstoffer for de enkelte scenarier opgjort. Der fremgår at i koncept 7-9 er der ingen efter separation, medens 75% af den afgassede biomasse efter separeres i koncept 2-5 og i koncept 6 eftersepareres hele den afgassede biomasse.

Tabel 2.9. Eksempel på massebalanceberegning i koncept 4, med forseparering af 50% svinegylle og efterseparering af 75% af biomassen



Tabel 2.10. Massebalancer, mængder og næringsstoffer i de forskellige koncepter, ton pr. år

					Fast				Flydende				Afgasset biomasse			
Koncept	I alt	N	P	K	I alt	N	P	K	I alt	N	P	K	I alt	N	P	K
----- Ind tons/år-----					----- Ud tons/år-----				----- Ud tons/år-----				----- Ud tons/år-----			
1	180000	929	209	566	0	0	0	0	0	0	0	0	180000	929	209	566
2	180000	929	209	566	8715	163	108	27	126285	534	48	397	45000	232	52	141
3	180000	929	209	566	5888	131	104	18	129112	566	52	406	45000	232	52	141
4	188587	1070	289	656	16200	261	161	56	125240	542	55	436	47147	267	72	164
5	188587	1070	289	656	10112	198	152	35	131329	604	65	457	47147	267	72	164
6	47520	477	261	112	5858	119	157	14	41662	358	105	98	0	0	0	0
7	47520	477	261	112	0	0	0	0	0	0	0	0	47520	477	261	112
8	47520	477	261	112	0	0	0	0	0	0	0	0	47520	477	261	112
9	180576	1813	993	426	0	0	0	0	0	0	0	0	180576	1813	993	426

Referencer

- Klinke, H., Ahring, B.K., Schmidt, A.S. og Thomsen, A.B. (2002) Characterization of degradation products from alkaline wet oxidation of wheat straw. *Bioresource Technology* 82 (2002).
- Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K. 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technology* 85: 189–196.
- Shleser, R. (1994) Ethanol Production in Hawaii. Report prepared for the State of Hawaii Department of Business, Economic Development and Tourism.

3. Landbrugsoplande

Konsulent Torkild Birkmose, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret

For at afdække de landbrugsmæssige konsekvenser af at indføre biogasanlæg og gylleseparering, er der opstillet et landbrugsopland, som kan forsyne biogasanlægget med den fornødne mængde gylle. Landbrugsoplandet skal desuden aftage afgassede og separerede produkter fra anlægget. En del af produkterne skal afsættes uden for oplandet for at overholde et kriterie om maksimal tilførsel af 20 kg P pr. ha i husdyrgødning eller afgasset biomasse.

3.1. Metode

Der er sammensat et "kunstigt" opland med relativ høj husdyrtæthed. For at få en så realistisk sammensætning af oplandet som muligt, er sammensætningen foretaget, så en række nøgletal svarer til nøgletallene for et husdyrtæt område i Danmark (referenceområde). Som referenceområde er valgt Morsø Kommune. Nøgletallene for referenceområdet er beregnet ud fra et udtræk af Plantedirektoratets database over gødningsregnskaber for høståret 2002/03, som er de nyeste tilgængelige. En sammenligning af nøgletallene for referenceområdet og for det kunstige opland fremgår af afsnit 3.3.

For nu-driften (scenarium 0) uden biogas og gylleseparering og for hvert af 9 alternativer med biogasanlæg og gylleseparering (scenarierne 1-9) laves gødningsplaner over forbruget af gylle, separeringsprodukter og handelsgødning, og der gennemføres beregninger over behov for gødningsoverførsel, gødningsudnyttelse og handelsgødningsforbrug. Dermed sikres, at afgrødernes næringsstofforsyning er optimal i alle scenarier og der er balance mellem behov og tilførsel af de enkelte næringsstoffer og på en måde, så planteproduktionen er på samme niveau uanset behandlingssystem.

3.2. Begrænsninger i tilførsel af husdyrgødning

Den maksimalt tilladte mængde husdyrgødning er fastsat ud fra en maksimal tilførsel på 20 kg fosfor pr. ha på alle brugstyper. Denne begrænsning er snævrere, end krævet i den gældende lovgivning (husdyrgødningsbekendtgørelsen), hvor der tillades op til 140 kg kvælstof pr. ha på svine- og planteavlsbrug og op til 170 kg kvælstof pr. ha på kvægbrug (henholdsvis 1,4 og 1,7 dyreenheder pr. ha). Under visse betingelser tillades endog op til 230 kg kvælstof pr. ha på kvægbrug (2,3 dyreenheder pr. ha). Med

den kvælstofmængde følger en fosformængde, som i mange tilfælde vil være væsentlig større, end det som afgrøder efterfølgende fjerner fra marken, og der vil derfor ofte være et større eller mindre overskud af fosfor på marken.

Af frygt for, at dette fosforoverskud vil give anledning til miljøgener, stiller mange amter allerede i dag krav om, at der skal være balance mellem tilførsel og bortførsel, når en landmand søger om tilladelse til at udvide besætningen. I praksis vil der ofte være balance ved en tilførsel på ca. 20 kg fosfor pr. ha, men det vil variere meget afhængig af jordtype, sædskifte, udbyttens niveau m.v.

3.3. Beskrivelse af oplande

I alle oplandene er 75 pct. af dyreenhederne svin og 25 pct. er kvæg. Der vælges oplande af følgende størrelser:

Scenarium 0-3	180.000 ton gylle
Scenarium 4-5	270.000 ton gylle
Scenarium 6-8	357.285 ton gylle
Scenarium 9	1.357.682 ton gylle

Specifikke forudsætninger for oplandet

I tabel 3.1 er vist en oversigt over nøgletal for Morsø kommune og for scenarium 0 i det kunstige opland ("nudrift" uden biogasanlæg og gylleseparering).

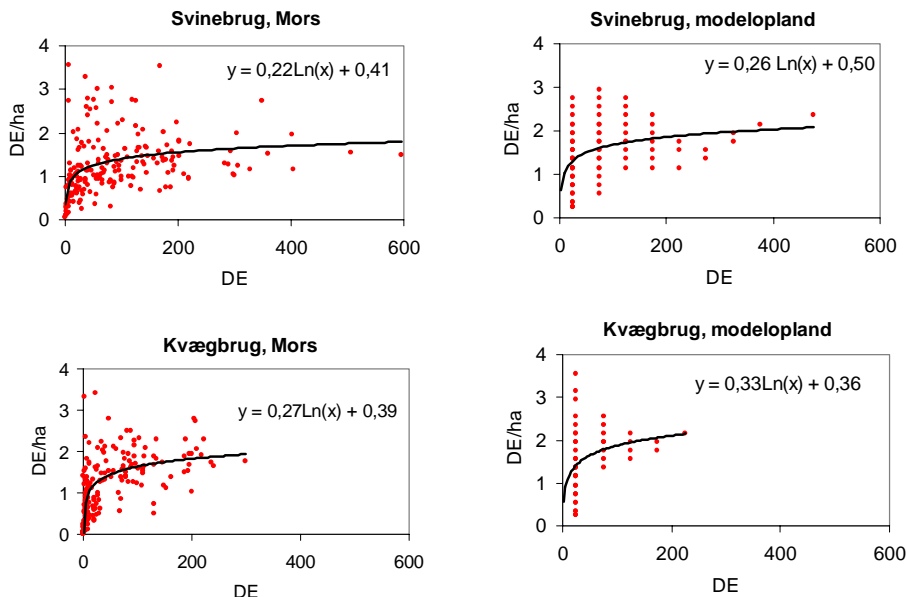
Tabel 3.1. Sammenligning af nøgletal i Morsø Kommune og i scenarium 0 i kunstige opland (nu-drift)

	Morsø kommune	Scenarium 0 ("nudrift")
Antal brug, stk.:		
Svinebrug	203 (35 pct.)	79 (48 pct.)
Kvægbrug	186 (32 pct.)	47 (28 pct.)
Andre husdyr	55 (9 pct.)	0
Ren planteavl	144 (24 pct.)	39 (24 pct.)
Dyreenheder:		
Svinebrug	19.307 (62 pct.)	7.475 (75 pct.)
Kvægbrug	9.657 (31 pct.)	2.475 (25 pct.)
Andre husdyr	2.098 (7 pct.)	0
Ren planteavl	0	0
Areal, ha:		
Svinebrug	14.981 (59 pct.)	5.817 (69 pct.)
Kvægbrug	7.172 (28 pct.)	1.802 (21 pct.)
Ren planteavl	3.332 (13 pct.)	838 (10 pct.)
Dyreenheder pr. ha:		
Svinebrug	1,29	1,29
Kvægbrug	1,37	1,35
Gennemsnit for hele området	1,18	1,15
Normproduktion i husdyrgødning, kg N pr. ha:		
Svinebrug	120	120
Kvægbrug	134	133
Kg N pr. dyreenhed:		
Svinebrug	94	93
Kvægbrug	97	99
N-norm, kg N pr. ha:		
Svinebrug	142	144
Kvægbrug	163	164
Ren planteavl	144	144
Handelsgødning, kg N pr. ha:		
Svinebrug	66	65
Kvægbrug	62	65
Ren planteavl	87	92

Brugsstørrelse og husdyrtæthed

Størrelsen af de enkelte brug i oplandet er fastsat således at der blev god overensstemmelse mellem størrelsesfordelingen i modeloplandet og på Mors. Samtidig er jordtilliggendet afstemt, således at harmoniforholdet i modeloplandet svarer til harmoniforholdet på Mors. Dette er illustreret i figur 3.1.

Figur 3.1. Fordeling af driftsstørrelse og husdyrtæthed på Mors og i modeloplandet



Husdyrgødningsnormer

I beregningerne er der anvendt normer for husdyrgødnings indhold af næringsstoffer. På bedrifterne produceres kun gylle. Som standard er der regnet med, følgende sammensætning af husdyrholdet:

Svinebrug: Søer med fuld opdræt af smågrise og slagtesvin

Kvægbrug: Malkekøer af stor race med 1,17 årsopdræt og 0,5 produceret tyr årligt.

Der er anvendt den gældende husdyrgødningsnorm for 2004/05, men fosforindholdet er reduceret med 9 pct. for svin og 8 pct. for kvæg, som følge af en forventning om en forbedret fodring i tilfælde af, at der indføres restriktioner i fosfortilførslen. Reduktionen i fosforindholdet er estimeret af henholdsvis Landsudvalget for Svin og Dansk Kvæg.

Mængde og sammensætningen af husdyrgødningen fremgår af tabel 3.2.

Tabel 3.2. Mængde og sammensætning af husdyrgødning

	Ton/DE	Kg total N/ton	Kg NH ₄ -N/ton	Kg P/ton ¹⁾	Kg K/ton
Svinegylle	17,6	5,05	3,78	1,10	2,36
Kvæggylle	19,4	5,47	3,29	0,93	5,28

¹⁾ Der er indregnet forbedret udnyttelse af P i foder.

Jordtype og sædskifte

På alle driftstyper er anvendt JB 2-4 på halvdelen af arealet og JB 5-6 på resten. I tabel 3.3 og 3.4 er vist en oversigt over de standardsædskifter, som er valgt til henholdsvis svine- og planteavlsbrug og til kvægbrug. Desuden er normerne for tilførsel af kvælstof, fosfor og kalium vist, som de fremgår af Plantedirektoratets Vejledning og Skemaer, 2004-05.

Tabel 3.3. Sædskifte og næringsstofbehov på svine- og planteavlsbrug

	N-norm, kg/ha	Forfrugtsværdi, kg/ha	P-norm, kg/ha	K-norm, kg/ha
Vinterbyg	149	0	19	60
Vinterraps	172	-29	24	80
Vinterhvede	164	0	20	70
Vinterhvede, 2. års	164	0	20	70
Vårbyg	121	0	22	55
Vårbyg	121	0	22	55
Gennemsnit	144		21	65

Tabel 3.4. Sædskifte og næringsstofbehov på kvægbrug

	N-norm, kg/ha	Forfrugts-værdi, kg/ha	P-norm, kg/ha	K-norm, kg/ha
Silomajs	145	0	42	135
Silomajs	145	0	42	135
Vårbyg m. udlæg	121	0	22	55
Slætgræs	253	-74	32	180
Slætgræs, 2. års	253	0	32	180
Permanent græs, alm. afgræsning	140	0	9	75
Gennemsnit	164		34	127

Kvælstofudnyttelse i husdyrgødning

I tabel 3.5 er vist udnyttelsen af kvælstof i husdyrgødning. Det er den samlede udnyttelse første og efterfølgende år, der er anført. For svine- og kvæggylle er anført kravet til udnyttelse i henhold til lovgivningen, som kan opnås ved anvendelse af god praksis. For afgasset gylle, separeret svinegylle og separeret afgasset gylle er tilsvarende vist den udnyttelse, som kan opnås ved god praksis.

Tabel 3.5. Anvendte udnyttelse af kvælstof i husdyrgødning

	Kvælstofudnyttelse, pct., 1.+ 2. år	Vægtet gennemsnit, pct.
Svinegylle	75	-
Kvæggylle	70	-
Afgasset gylle	80	-
Fiber, svinegylle	50	
Væske, svinegylle	90	80
Fiber, afgasset gylle	50	
Væske, afgasset gylle	90	82

Overførsel af husdyrgødning inden for oplandet

I praksis har et betydeligt antal husdyrbrugere et mindre antal husdyr end harmonigrænsen tillader – selv i et husdyrtæt område. En del rene planteavlere modtager husdyrgødning, men en del vælger af den ene eller den anden årsag ikke at modtage husdyrgødning på trods af det store udbud. I beregningerne er det for alle husdyrbrugere og rene planteavlere derfor antaget, at de præcis modtager 50 pct. af den maksimale mængde de kunne have modtaget i henhold til maksimumsgrænsen på 20 kg P pr. ha. Således bliver der behov for tilførsel af fosfor i handelsgødning selv i det husdyrtætte område og under skærpede krav til tilførsel af fosfor i husdyrgødning.

Handelsgødning

I tabel 3.6 er vist prisen på handelsgødning. Der er anvendt de priser, som fremgår af Oversigt over Landsforsøgene 2004. Der er regnet med et kvælstofindhold i gødningen på 25 pct., og hvor der er behov for tilførsel af fosfor og kalium i handelsgødning er det forudsat, at der vælges en passende NPK-gødning, således at behovet for kvælstof, fosfor og kalium kan opfyldes med én gødning.

Tabel 3.6. Handelsgødningsindhold og -priser

N-koncentration i handelsgødning	25 pct.
Kvælstofpris	4,50 kr. pr. kg
Fosforpris	9,20 kr. pr. kg
Kaliumpris	2,90 kr. pr. kg

3.4. Resultater

Nedenfor er hovedresultaterne af beregningerne over landbrugsoplandene præsenteret. Resultaterne indgår endvidere i den driftsøkonomiske model i afsnit 5.

3.4.1. Behov for overførsel af husdyrgødning

Husdyrtætte områder er kendetegnet ved, at husdyrgødningen kun med nød og næppe kan afsættes inden for området, og i meget husdyrtætte områder skal en del af gødningen transporteres ud af området for at skabe den krævede harmoni mellem husdyrproduktionen og dyrkningsarealet. Det er tilfældet selv med de nugældende harmoniregler. I scenarieberegningerne er der som nævnt forudsat en stramning af harmonikravene, således at det maksimalt er tilladt at udbringe 20 kg P i husdyrgødning pr. ha pr. år. Det strammere krav betyder dels, at der bliver et væsentligt behov for at føre husdyrgødning ud af området, men til gengæld blive den gennemsnitlige tilførsel af fosfor i husdyrgødning væsentlig lavere. Det fremgår af tabel 3.7.

Tabel 3.7. Sammenligning af gældende og skærpede harmonikrav med hensyn til gennemsnitlig fosfortilførsel i husdyrgødning og behovet for at føre husdyrgødning ud af området. Beregningerne er foretaget i for scenarium 0 (nu-drift uden biogas og separering)

	Gældende harmonikrav	Skærpede krav, max. 20 kg P pr. ha
Gennemsnitlig kg P pr. ha	25 kg	18 kg
Pct. af gødningsmængde ført ud af området	0 pct.	20 pct.

Det fremgår af tabel 3.7, at selv om der tillades en maksimal tilførsel af husdyrgødning på 20 kg P pr. ha, så tilføres der i gennemsnit blot 18 kg P. Årsagen er, at det ikke forventes, at alle planteavlere og andre med mulighed for at modtage husdyrgødning, vil modtage den maksimalt mulige mængde. Derfor er der i beregningerne forudsat, at alle brug modtager præcis 50 pct. af den maksimalt mulige husdyrgødningsmængde.

I tabel 3.8. er vist resultatet af en beregning af behovet for at overføre husdyrgødning i scenarium 0-9 under forudsætning af, at der maksimalt må tilføres 20 kg P i husdyrgødning pr. ha pr. år.

Tabel 3.8. Behovet for at overføre husdyrgødning i scenarium 0-9

Sc.	Beskrivelse	Behov for overførsel, pct. af gødningsmængde
0	Nu-drift, ingen biogas eller gylleseparering	20
1	Afgasning af gylle på biogasanlæg	21
2	Afgasning, separering og recirkulering af fiber	2
3	Afgasning, separering og vådoxidering af fiber	1
4	Forseparering af 50 pct. svinegylle, afgasning, separering	2
5	Forseparering af 50 pct. svinegylle, afgasning, separering, vådox. af fiber	2
6	Forseparering af al svinegylle, separering	1
7	Forseparering af al svinegylle, separering, vådoxidering af fiber, 50 t TS/dag	4
8	Forseparering af al svinegylle, separering, vådoxidering af fiber, UASB	4
9	Forseparering af al svinegylle, separering, vådoxidering af fiber, 500 t TS/dag	4

Ved den separering, som gennemføres i scenarium 2-9 opkoncentreres fosfor i en fosforrig fiberfraktion, som helt eller delvist anvendes til at føre fosfor i husdyrgødning ud af området. På den måde kan man føre store mængder fosfor bort i et relativt beskeden volumen. Derved opnås en betydelig besparelse på transport af overskydende næringsstoffer.

3.4.2. Udnyttelse af næringsstoffer og indkøb af handelsgødning

I scenarium 1-9 foretages der en række behandlinger af gyllen i forskellige kombinationer (afgasning, for- og efterseparering, recirkulering af fiber og vådoxidering). Disse behandlinger ændrer den fysiske og kemiske sammensætning af gyllen, og derfor er gødningsudnyttelsen i marken forskellig fra scenarium 0, hvor der ingen behandling foretages. I tabel 3.9. er vist en oversigt over den gennemsnitlige omkostning til handelsgødning, forbruget af kvælstof pr. ha og den gennemsnitlige udnyttelsesprocent for kvælstof i husdyrgødning.

Tabel 3.9. Den gennemsnitlige omkostning til handelsgødning, forbruget af kvælstof pr. ha og den gennemsnitlige udnyttelsesprocent for kvælstof i husdyrgødning

Scenarium	Omkostning til handelsgødning, kr. pr. ha	Kg N i handelsgødning pr. ha	Udnyttelsesprocent for N i husdyrgødning
0	477	83	73
1	467	78	80
2	374	63	83
3	364	61	84
4	375	64	83
5	362	61	84
6	359	60	83
7	386	66	82
8	386	66	82
9	386	66	82

Generelt opnås der en forbedret gødningsudnyttelse ved behandlingen, og omkostningen til handelsgødning falder. En væsentlig årsag til den faldende omkostning er en bedre udnyttelse af kvælstof i husdyrgødningen. Den forbedrede udnyttelse af kvælstof skyldes dels en nedbrydning af organisk bundet kvælstof ved afgasningsprocessen, dels en reduceret ammoniakfordampning som resultat af at viskositeten af gyllen øges ved afgasning og separering. Gyllen trænger da hurtigere ned i jorden, hvor den beskyttes mod ammoniakfordampning.

Selv om afgasning af gyllen i scenarium 1 giver anledning til en væsentlig forbedring af kvælstofudnyttelsen i forhold til nu-situationen, er besparelsen i indkøbet af handelsgødning beskeden. Årsagen er, at der bortføres væsentlig mere kalium i den afgassede gylle i scenarium 1 end i svinegyllen i scenarium 0. Derfor er der behov for at indkøbe mere kalium i scenarium 1, og dette indkøb opvejer delvist besparelsen i indkøbet af kvælstof.

4. Smitte-reducerende effekt af biogas-teknologi

*Sektionsleder ph.d. Dorte Lau Baggesen og Seniorforsker ph.d. Anders Stockmarr
Danmarks Fødevareforskning*

Anvendelse af biogasteknologi i energiforsyningen er multifunktionelt, hvor kontrol og begrænsning af risikoen for spredning af infektiøse sygdomme til og mellem husdyrbrug er en af de positive funktioner. Forudsætningen for den smitte-reducerende funktion er imidlertid at biogasanlægget fungerer korrekt og at transport til og fra anlægget er sikker. Hvis dette ikke er tilfældet, vil omsætning af gylle og animalske biprodukter via biogasanlæg udgøre en betydelig risiko for spredning af sygdomme.

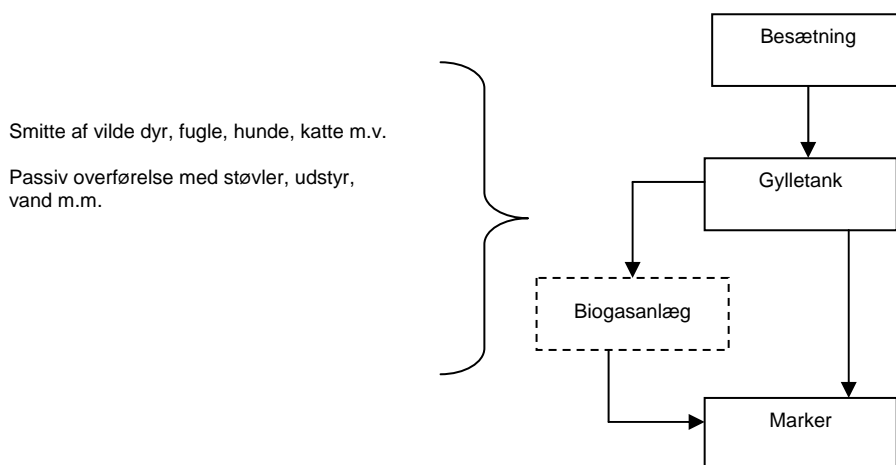
Råvaren til biogasanlæg er typisk husdyrgødning i form af gylle evt. suppleret med organisk affald herunder affald af animalsk oprindelse, der tilsættes for at øge biogasudbyttet af processen. Biogasudbyttet kan også øges ved tilsætning af vegetabiliske produkter f.eks. energiafgrøder, men da dette ikke har væsentlig betydning i smitte-mæssig sammenhæng, vil det ikke blive behandlet i dette indlæg.

Gylle indeholder fra naturens side store mængder af mikroorganismer, der har udgjort en uundværlig del af dyrenes mikrobielle tarmmiljø. Blandt disse mikroorganismer vil der være bakterier, virus og parasitter, der kan være sygdomsfremkaldende for dyr og mennesker (tabel 4.1). I mange tilfælde vil sådanne infektioner ikke være erkendt af producenten, idet infektionerne kan være stumme og ikke give anledning til sygdom hos dyrene. Indholdet af sygdomsfremkaldende mikroorganismer i gylle fra danske besætninger vil afspejle de infektioner, der allerede forekommer i disse besætninger (tabel 4.1). I modsætning hertil vil indholdet af sygdomsfremkaldende mikroorganismer i animalske biprodukter inkl. husholdningsaffald kunne være af videre oprindelse og det kan ikke udelukkes at infektioner, der ikke forekommer i Danmark, vil kunne introduceres af denne vej. Størst bekymring er således rettet mod risikoen for at fejlagtig håndtering af sådanne produkter vil kunne føre til introduktion af f.eks. Mund- og Klovsyge eller Svinepest, hvilket vil have store konsekvenser for dansk landbrug.

Tabel 4.1. Eksempler på sygdomsfremkaldende mikroorganismer, der er almindeligt forekommende i gylle under danske forhold

Bakterie	Sygdom
<i>Salmonella</i> , Gastroenteritis gruppen <i>Escherichia coli</i> , Patogene typer	Salmonellose. Tarmbetændelse, almen infektion. Colibacillose, Tarmbetændelse, almen infektion.
<i>Clostridium perfringens</i> <i>Clostridium tetani</i> <i>Clostridium butulium</i>	Clostridiose, tarmbetændelse. Stivkrampe. Botulisme, forgiftning via føden.
<i>Erysipelothrix</i> <i>Rhusiopathiae</i> <i>Mycobakterium</i> <i>paratuberculosis</i> <i>Brachyspira</i> <i>hyodysenteriae</i>	Rødsyge, almen eller lokal infektion, Hudinfektion hos mennesker. Kronisk tarmbetændelse hos kvæg, mistænkt som årsag til Chrohn's sygdom hos mennesker. Tarmbetændelse
<i>Lawsonia</i> Intracellularis	Tarmbetændelse.
Coccidier (Eimeria), Cryptosporidier, Giardia (protozoer) Ascaris æg Rotavirus Coronavirus Porcint parvovirus	Tarmbetændelse hos kalve Spolorm hos svin Tarmbetændelse hos kvæg og svin Tarmbetændelse hos kvæg Tarmbetændelse hos svin

Figur 4.1. Smittespredning ved håndtering af gylle og alternativt ved håndtering af udrådnets biomasse



Anvendelse af biogasteknologier vil kunne medvirke til at mindske risikoen for smit-tespredning til besætninger fordi der ved biogasprocessen sker en reduktion af mængden af smitstoffer, der under uheldige omstændigheder kan føres tilbage til husdyrbe-sætninger. Reduktionen skyldes primært den varmebehandling som biomassen udsæt-tes for men vil også for nogle af de nye teknologier være forårsaget af trykpåvirkning og ilttningsprocesser. Størrelsen af smitstofreduktionen ved varmebehandling vil pri-mært afhænge af behandlingens længde og temperatur. 90% reduktion af Salmonella og andre vegetative bakterier vil således ske på mindre end en time ved termofil ud-rådning (53 °C), mens det tager ca. 2½ døgn ved mesofil udrådning (35 °C) (Munch & Schlundt, 1983; Olsen & Larsen, 1987); tilsvarende tid-temperatur afhængighed vil forekomme for reduktion af virus og parasitter (Olsen & Nansen, 1987; Lund et al., 1996). I modsætning hertil vil sporedannende bakterier og visse termoresistente virus (eks. parvovirus) ikke blive inaktiveret ved tilsvarende varmebehandlinger (Olsen & Larsen, 1987; Lund et al., 1996)

4.1. Smitte-reducerende effekt af nye biogasteknologier

I projektet ”Fremtidens biogasanlæg” vurderes en række scenarier i relation til at op-timere biogasproduktionen. Optimeringen skal specielt ses i relation til et ønske om at øge potentialet for biogas alene på grundlag af gylle og dermed mindske biogaspro-duktionens afhængighed af energirige (animalske) biprodukter. Reduktion i tilførelsen af animalske biprodukter vil fra et smitterisikomæssigt synspunkt være ønskeligt idet biprodukterne, som tidligere nævnt, udgør en større risiko end gylle. Omvendt vil det dog også være ønskværdigt med udvikling af teknologier som f.eks. biogas der kan bidrage til en både smitte- og miljømæssig sikker håndtering af de affaldsprodukter, der fremkommer efter den betydelige danske fødevareproduktion (Nielsen et al., 2002). Erfaringerne opnået i nærværende projekt vil derfor også kunne bidrage til forbedret affaldshåndtering set i et bredere perspektiv.

Vurderingen af den smitte reducerende effekt at de nye biogas-teknologier kan opde-les i to trin. Generelt skal man som for de fungerende anlæg vurdere hele forløbet fra afhentning af gylle på besætningerne til udbringning af den afgassede biomasse på markerne. Denne vurdering omfatter forhold omkring transport og lagring samt for-hold omkring anlæggenes indretning og vedligeholdelse herunder vurdering af risiko-en for fejl i varmebehandlingen og risikoen for krydsforurening mellem den rene og urene del af anlæggene. Disse vurderinger adskiller sig ikke principielt fra vurderin-ger i relation til de fungerende anlæg.

Mere specifikt kan de enkelte elementer, der indgår i de forskellige scenarier vurderes fra et smittereducerende perspektiv:

Reference scenarier:

Konventionel termofil biogasreaktor (CSTR) med garanteret opholdstid på 4 timer

Der må forventes en væsentlig reduktion af almindelige bakterier og parasitter mens termoresistente virus (eks.parvovirus) og sporedannene bakterier (eks. clostridier og bacillus) ikke vil reduceres. Erfaringer viser at en 4-log reduktion af bakterier kan opnås men dette er ikke tilstrækkeligt dokumenteret under praktiske forhold.

Hygiejnisering ved 70 °C i 60 min. jf. biproduktsforordningen (EC No. 1774/2002)

Der må forventes en væsentlig reduktion af almindelige bakterier og parasitter mens termoresistente virus (eks.parvovirus) og sporedannene bakterier (eks. clostridier og bacillus) ikke vil reduceres. Der findes ikke tilfredsstillende dokumentation for effekten af hygiejniseringen.

Elementer i relation til scenarier for nye biogas-teknologier:

For-separation (kemisk fældning)

Ved separation opdeles biomassen og de dertil relaterede mikroorganismer fysisk i flere fraktioner. Fordelingen af mikroorganismer i de enkelte fraktioner kendes pt. ikke for kemisk fældning, men der er undersøgelser i gang på området. Der indgår ikke varmebehandling i forbindelse med separation og der sker derfor ingen reduktion af smitstoffer som følge heraf. Hvorvidt den kemiske fældning har indflydelse på niveauet af mikroorganismer herunder smitstoffer er uvist.

Efter-separation (dekanter centrifuge)

Ved separation opdeles biomassen og de dertil relaterede mikroorganismer fysisk i flere fraktioner. Undersøgelser ved Danmarks Fødevareforskning har vist, at bakterierne forekom i såvel den flydende som den faste fraktion. Separationsprocessen medførte en lille opkoncentrering af indikatororganismer i den faste fraktion, men ikke mere end at niveauerne i smitemæssig sammenhæng kan sidestilles med niveauet i rågylle. Blandt specifikke sygdomsfremkaldende mikroorganismer viste det sig, at spolorm-æg efter separation alene kunne genfindes i den faste fraktion. Dette kan hovedsageligt forklares med organismernes størrelse samt tilbøjelighed til at knytte sig til partikler (Baggesen, 2005).

Resultaterne af forskningsprojekt viser således, at fraktioner efter gylleseparation ikke adskiller sig væsentligt fra rågylle i relation til det mulige indhold af sygdomsfremkaldende organismer. Der indgår ikke varmebehandling i forbindelse med separation og der sker derfor ingen reduktion af smitstoffer som følge heraf.

Vådoxidation

Ved vådoxidation udsættes biomassen for kraftige fysiske og kemiske påvirkninger baseret på høj temperatur (170 °C), højt tryk (15-20 bar), oxidation gennem tilsætning af iltningmiddel og pludseligt trykfald (flash). Det må forventes at denne behandling eliminere alle sygdomsfremkaldende mikroorganismer hvilket foreløbige resultater af igangværende forskningsprojekter også dokumenterer (Ahring, personlig meddelelse, 2005).

Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor (UASB)

Indtil videre foreligger ingen litteratur om den smittereducerende effekt i UASB reaktor. Den aktive biomasse i UASB reaktor er immobiliseret som gør at spildevand med et højt indhold af opløst COD kan behandles med et højt flow gennem reaktoren. Derfor er opholdstiden i reaktoren normalt kun 1 – 2 døgn. Procestemperaturen er enten 37°C eller 55°C. Pga. hyppig tilførelse af substratet døgnet rund er den garanterede opholdstid i reaktoren lav. Ved for eksempel indstillingen af 6 fødeperioder om dagen er den garanterede opholdstid omkring 4 timer. Ved behandling ved 37°C kan ikke forventes en smitte-reducerende effekt af denne behandling men tværtimod må forholdene kunne resultere i opformering af organismer hidrørende fra tarmkanalen af dyr. Ved behandling ved 55°C kan en delvis reducerende effekt forventes.

I det beskrevne scenarier indgår UASB-reaktoren imidlertid alene i sammenhænge hvor den samlede biomasse også vådoxideres, hvilket betyder at den manglende smittereducerende effekt af UASB-behandlingen bliver uden praktisk betydning.

4.2. Dokumentation af smitte-reducerende effekt samt godkendelse af biogas-anlæg

Indførelse af biprodukt-forordningen (EC No. 1774/2002) har betydet øget krav til og kontrol med biogasanlæg. Ifølge forordningen skal alle anlæg godkendes og kontrolleres af de veterinære myndigheder på grundlag af bl.a. et iværksat egenkontrolprogram. Anlæggene skal bl.a. dokumentere at den udrådnede biomasse overholder specifikke krav for niveauet af mikroorganismer og for anlæg, der tilføres animalske biprodukter, gælder desuden specielle krav til varmebehandling af disse. Tilførelse af

biprodukter tilhørende forordningens kategori 3 (eks. almindeligt slagteri- og husholdningsaffald) forudsætter således hygiejnisering af dette ved 70 °C i 60 min.

Flere EU-medlemsstater incl. Danmark har henvendt sig til kommissionen med ønske om at forordningen bliver ændret således at der ikke stilles specifikke krav til indretning af de enkelte biogasanlæg ligesom normer vedr. overvågning af den mikrobiologiske kvalitet af produkterne ønskes ændret. Kommissionen har på baggrund heraf bedt Det europæiske Fødevarer sikkerhedsagentur (EFSA) om en videnskabelig redegørelse for alternative rammer for biogas- og komposteringsanlæg set i et smittebegrænsnings perspektiv. Tilbage meldingen fra EFSA (Anonym, 2005) er kommet i september 2005 og vil indgå i kommissionens arbejde med revision af forordningen.

Den overordnede linie i EFSA's tilbage melding er at kravene til de enkelte biogasanlæg skal gives som krav til dokumentation af et givet niveau af smittereducerende effekt og ikke som krav om en specifik behandling. EFSA anbefaler at anlæg skal kunne dokumentere en reduktion af almindelige bakterier på 5 log-enheder og at der herudover kan stille specielle krav vedr. reduktion af termostabile virus og parasitter, hvor dette ved vurdering af råvarerne findes relevant. Dokumentation af anlæggenes drift gennem etablering af egenkontrolprogram og overvågning af kritiske procespunkter som bl.a. varmebehandlingens varighed og temperatur er fortsat en vigtig del af kontrollen.

En vigtig del af det fremtidige arbejde med udvikling af nye koncepter for biogasanlæg må derfor forventes at blive en konkret evaluering af de enkelte koncepters og anlægs smittereducerende effekt. En overordnet evaluering af koncept/teknologi skal gennemføres på videnskabelige præmisser og skal efterfølgende følges op af en dokumentation af at de etablerede anlæg kan honorere den effekt, der blev identificeret ved evalueringen.

Referencer

- Anonym. 2005. Opinion of the Scientific Panel on Biological Hazards of the European Food Safety Authority on the safety vis-à-vis biological risks of biogas and compost treatment standards of animal byproducts
http://www.efsa.eu.int/science/biohaz/biohaz_opinions/catindex_en.html
- Baggesen, D.L. 2005. Håndtering af separationsprodukter udgør samme smitterisiko som håndtering af rågylle. *Forskning i Bioenergi*, 6, februar 2005.
- Lund, B., Jensen, V.F., Have, P., Ahring, B. 1996. Inactivation of virus during anaerobic digestion of manure in laboratory scale biogas reactors. *Antonie van Leeuwenhoek*, 69, 25-31.
- Olsen, J.E., Larsen, H.E. 1987. Bacterial Decimation Times in Anaerobic Digestions of Animal Slurries. *Biological Wastes* 21, 153-168.
- Olsen, J.E., Nansen, P. 1987. Inactivation of Some Parasites by Anaerobic Digestion of Cattle Slurry. *Biological Wastes* 22, 107-114.
- Munch, B., Schlundt, J. 1983. On the reduction of pathogenic and indicator bacteria in animal slurry and sewage subjected to anaerobic digestion or chemical disinfection. In: Hygienic Problems of Animal Manures. Proceedings of a joint workshop of expert groups of the Commission of the European Communities, German Veterinary Medical Society (DVG) and Food and Agricultural Organization, Stuttgart 1983, 130 – 149.
- Nielsen, L.H.; Hjort-Gregersen, K.; Thygesen, P. og Christensen, J. (2002): Samfundsøkonomiske analyser af biogasfællesanlæg – med tekniske og selskabsøkonomiske baggrundsanalyser. Rapport nr. 136, Fødevareøkonomisk Institut.

5. Driftsøkonomiske analyser

Forsker Kurt Hjort-Gregersen, Fødevareøkonomisk Institut

5.1. Indledning

De driftsøkonomiske analyser foretages som systemanalyser. I en systemanalyse kvantificeres så vidt muligt alle relevante indtægter og omkostninger i det samlede system. Formålet er at kunne drage sammenligninger i første omgang på systemniveau, dernæst at kunne sammenligne de enkelte dele i systemet. Fordelen ved denne fremgangsmåde er, at eventuelle synergieffekter vil kunne afdækkes. Konkret beregnes omkostningerne fra gyllen forlader stalden til den er udnyttet som næringsstoffer i marken. Undervejs er den i nogle tilfælde separeret, transporteret til og fra biogasanlægget, og overskydende mængde transporteret bort, til fjerntboende planteavlere. De elementer, der indgår i analysen fremgår af tabelhovedet i resultatskemaet (tabel 5.1). Beregningerne er foretaget ved hjælp af regnearksmodeller, der beregner omkostninger eller nettoomkostninger for de enkelte elementer, der indgår i analysen. Forudsætningerne for beregningerne fremgår af det følgende.

5.2. Forudsætninger

I det følgende forklares en række forudsætninger og deres grundlag.

Udgangsmængde

Her er der tale om den samlede mængde gylle, der findes i oplandet. I koncept 1-5 føres denne mængde til biogasanlægget, enten ubehandlet, eller for svinegyllens vedkommende, i nogle tilfælde separeret forinden. I koncept 6-9 føres kvæggyllen ikke til anlægget, men indgår i kalkulationerne for landbrugssiden.

Dimensioneringsmængde

Denne mængde defineres som den mængde flydende pumpbar biomasse, som biogasanlægget dimensioneres efter, svarende til anlæggets årlige behandlingskapacitet i gylle.

Forseparering

I nogle koncepter forsepareres svinegyllen helt eller delvist på gårdene forud for transport af fiber til anlægget.

Efterseparering

I en række af koncepterne sker der en hel eller delvis efterseparering af den afgassede gylle.

Recirkulering

Ved nogle koncepter recirkuleres de efterseparerede fibre i et vist omfang, enten efter forudgående forbehandling ved vådoxidering, eller ubehandlet. I et koncept recirkuleres alene frasepareret væske. Dette forudsætter, at anlægget udelukkende tilføres forsepareret fiber, og fraføres eftersepareret fiber.

Forbehandling

I nogle koncepter foretages en forbehandling af indkomne eller recirkulerede fibre på anlægget.

Opbevaring

Der beregnes omkostninger til opbevaring af gødningen eller gødningsfraktioner i 9 måneder. Beregningerne udføres således, at producenterne af gødningen, dvs. de husdyrproducerende bedrifter i oplandet, afholder omkostningerne til opbevaring, uanset at en del i sidste ende borttransporteres til planteavlere andetsteds.

Udkørsel

Der beregnes omkostninger til udkørsel af gylle og separerede fraktioner ved anvendelse af konventionelt materiel. Der er forudsat en gennemsnitsafstand mellem gård og mark på 1 km. Afstanden reduceres med 20 % i koncepter med biogasanlæg, eftersom lastbilerne kan levere gyllen hvor det er mest praktisk for landmanden, svarende til, hvad erfaringerne fra de eksisterende biogasfællesanlæg tilsiger. Det er forudsat, at husdyrproducenterne afholder omkostningerne til udkørsel af gylle og gødningsfraktioner uanset at noget af det borttransporteres og afsættes til planteavlere udenfor området.

Transport af fiber til og fra anlæg

Der er forudsat at landmændene bekoster transporten af fiber til anlægget. Der er valgt et transportsystem til fiber baseret på containere, der hentes og bringes med lastbil. Det betyder, at der investeringsmæssigt er forudsat en container pr. bedrift, der skal foretage gårdseparering, plus en ekstra. Containerne forudsættes at have en kapacitet på 20 ton fiber.

Alternativt kunne der anvendes en lastvogn med tiplad. Men det vil kræve enten læsning med svinggrab, hvilket er ganske tidskrævende, eller, at der ved læsning skal være en gummihjulslæsser eller en traktor med frontlæsser til rådighed. En analyse har vist, at der ikke er afgørende forskel på omkostningerne ved disse transportsystemer for fiber. Containerløsningen forventes endvidere anvendt ved det kommende biogasfællesanlægsprojekt på Bornholm.

Borttransport af overskudsgylle

I koncept 0, hvor der ikke etableres biogasanlæg, skal landmændene selv bekoste borttransport af overskudsgylle. Dette forudsættes at ske på lastbiler.

Køb af handelsgødning

Den mængde handelsgødning der skal indkøbes i de forskellige koncepter afhænger af den næringsstofudnyttelse i oplandet, som håndteringen, behandlingen og anvendelsen af husdyrgødningen muliggør. Effekter som øget mineralisering af kvælstof, separering og fordeling af næringsstoffer spiller en rolle her.

Næringsstofferne i den overskudsgylle eller gødningsfraktion der borttransporteres værdisættes ikke. Det forudsættes, at der faktisk kan findes modtagere af overskydende næringsstoffer, når der ikke skal betales for næringsstofferne og alle omkostninger er afholdt.

Udkørsel af handelsgødning

Forskellig mængde handelsgødning giver anledning til ændrede omkostninger til udkørsel.

Gårdseparering

Der forudsættes anvendt et stationært separeringsanlæg, af båndfiltertypen. Forudsætningerne for beregningerne er oplyst af firmaet Kemira miljø. Tallene stammer ganske vist fra et mobilt system, men det vurderes, at et stationært anlæg formentlig vil koste nogenlunde det samme. Ganske vist kan containeren muligvis spares, men maskinen skal i så fald installeres i en bygning.

Ind og udtransport af gylle

Der anvendes traditionelle lastvognstankvogne med lasteevne på 30 tons, som er blevet almindelige på biogasfællesanlæggene i de seneste år.

Forbehandling af fibre

Dette er forudsat foretaget ved vådoxidation. Der er tale om en teknologi under udvikling, og bl.a. derfor har der ikke kunnet fremskaffes detaljerede forudsætninger for beregning af omkostningerne hertil. Med tanke på forbehandlingens betydning for resultaterne, må der i projektets senere faser arbejdes mere med at indkredse forudsætningerne herfor. Med udgangspunkt i overslagsmæssige oplysninger om mulige behandlingspriser, er omkostningerne til vådoxidering i første omgang anslået til 100 kr. pr. ton fiber.

Nettoresultat for biogasanlægget

Investeringerne i biogasanlægget beregnes med udgangspunkt i Dagens anlæg, som blev præsenteret i FØI rapport 136 i 2002. Konceptet er modificeret til termofil drift, dog stadig med forhygiejnisering og kraft-varmeanlæg til forsyning med procesvarme. Det gælder dog ikke i koncepter med vådoxidering, idet der her forudsættes etableret kedelanlæg til dampproduktion.

Beregningerne forudsætter, at den indtransporterede biomasse kan håndteres og behandles i anlægget som gylle for samme omkostninger som ved gylle og organisk affald i Dagens anlæg, FØI rapport 136, 2002.

Efterseparering

I koncepter hvor efterseparering indgår, er der forudsat anvendelse af en decantercentrifuge. Forudsætninger herfor er hentet fra FØI rapport nr. 142, Separering af gylle. De decantercentrifuger, der her blev regnet på var af mærket Pieralisi.

Borttransport af overskudsgylle

I koncepter med biogasanlæg er det forudsat, at biogasanlægget bekoster borttransporten af overskudsgylle. Hertil kan anvendes eget materiel, som også anvendes til ind og udtransport

Borttransport af overskudsfiber

I koncepter med biogasanlæg er det forudsat, at biogasanlægget bekoster borttransporten af overskudsfiber. Der er forudsat anvendt lastbiler med tiplad med lasteevne på 30 tons fiber.

5.3. Generelle forudsætninger

Kalkulationsrenter

Der regnes i 2005 priser. Der er anvendt en realrente på 3 % p.a., en generel prisstigningstakt på 2,5 % p.a., og dermed en kalkulationsrente på 5,5 % p.a.

Transportafstande

Der er forudsat følgende gennemsnitlige transportafstande mellem bedrifter og anlæg.

Koncept 1-3	10 km
Koncept 4-5	12 km
Koncept 6-8	14 km
Koncept 9	27 km

De 10 km, som er den laveste afstand svarer nogenlunde til det anvendte i Dagens anlæg. Hvis de 10 km opfattes som radius i den cirkel indenfor hvilken den pågældende gødningsmængde kan leveres, kan arealerne for de øvrige oplande beregnes ved at skalere med gødningsmængden. Transportafstanden findes da som radius i cirklen med det pågældende areal.

Afstande ved borttransport

De anslåede afstande er stigende fra 50 – 100 km

Koncept 1-3	50 km
Koncept 4-5	60 km
Koncept 6-8	70 km
Koncept 9	100 km

Gas og elpriser

I de indledende systemanalyser er der i udgangspunktet anvendt en salgspris for biogas på 2 kr. pr. m³ biogas. Det svarer til de seneste tre års gennemsnit for Ribe og Thorsø biogasanlæg, der sælger biogas til substitution af naturgas kraftvarme. Det er i øvrigt samme pris, som blev anvendt ved Dagens Anlæg i 2002. Den forudsatte elafregningspris er 60 øre pr. kwh i udgangspunktet, faldende til 40 øre efter 10 år. Salgsprisen for biogas reguleres derfor i overensstemmelse hermed efter 10 år.

5.4. Driftsøkonomiske resultater

En oversigt over analysens resultater vises i Tabel 5.1. Tabellen er opbygget så de første 7 søjler fra venstre tjener som hjælp for læseren til et overblik over, hvad de forskellige koncepter indeholder. Herefter kommer fra venstre de omkostninger der vedr. landbrugssiden, som fx opbevaring af husdyrgødning. Disse omkostninger summeres under landbrugssiden i alt. Disse beløb relateres til gødningsmængden i kr. pr. ton udgangsmængde. Herefter følger biogassiden med ind og udtransport, forbehandling, biogasanlæggets nettoresultat osv. Også biogassidens nettoomkostninger summeres i Biogassiden i alt. Biogassidens summerede omkostninger relateres til dimensioneringsmængden, hvorved de udtrykker en nettobehandlingsomkostning i biogasanlægget.

Endelig summeres samtlige omkostninger i System i alt. Disse omkostninger relateres igen til udgangsmængden, hvorved systemets nettoomkostninger pr. ton gylle i udgangsmængden fremkommer. Dette tal er helt centralt for vurderingen af de forskellige koncepter. Måltallet for behandlingskoncepterne fremgår af koncept 0, hvor det samlede systems nettoomkostning pr ton udgangsmængde er beregnet til 55 kr. pr. ton. Det betyder, at for overhovedet at være relevant skal behandlingskoncepternes nettoomkostninger være lavere end dette tal.

I koncept 0, dvs. situationen uden biogasanlæg er systemets samlede nettoomkostninger beregnet til 55 kr. pr. ton udgangsmængde. Hvis der som alternativ hertil etableres et traditionelt biogasfællesanlæg (uden affald) stiger de beregnede omkostninger til 74 kr. pr. ton. Det skyldes, at selve biogasanlægget ikke er rentabelt under disse forudsætninger, hvorved systemets samlede nettoomkostninger øges. På landbrugssiden er der imidlertid et incitament til at realisere dette alternativ, idet der er gevinster på landbrugssiden i form af lavere omkostninger til udkørsel, borttransport af overskudsgylle samt køb af handelsgødning. I praksis vil balancen evt. kunne oprettes ved tilførsel af affald til biogasanlægget, hvilket vil forøge rentabiliteten.

En anden vej til forbedret rentabilitet på biogassiden er ved at overgå til koncept 2, hvor den afgassede gylle separeres og en del af fiberen recirkuleres i anlægget. Her ved reduceres systemets nettoomkostninger til 59 kr. pr. ton udgangsmængde, men det er dog ikke tilstrækkeligt til, at biogassiden samlet set er rentabel.

Tabel 5.1. Resultatskema

Resultatskema

Resultatskema fremtidens biogasanlæg, koncept 0-9, P balance som harmonikriterie, med borttransport af overskydende næringsstoffer

Talstørrelser og beløb i 1000 tons og 1000 kr. i 2005 priser

Negative tal betyder, at der er tale om en negativ nettoomkostning, altså et overskud

	Udgangsmænde	Dim mængde	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Opbevaring	Udkørsel	Transp fiber	Borttrans OG	Køb Handelsg.	Udk. Handelsg-	Gådsseparering	Ldbr. Side i alt	Kr pr ton udgangsmængde	Ind/udtransp gylle	Forbeh fibre	Nettores biogasanlæg	Efterseparering	Borttrans OG	Borttrans OF	Biogasside i alt	Behandlingspris, kr pr ton dimmænge	System i alt	kr/ ton udgangsmængde	Gasudbytte/ton input
Konc 0	180	0	-	-	-	-	2887	1800	0	1159	4031	28	0	9905	55	0	0	0	0	0	0	0	9905	55	0	
Konc 1	180	180	-	-	-	-	2887	1710	0	0	3946	27	0	8570	48	2963	0	633	0	1217	0	4813	27	13383	74	25
Konc 2	180	180	-	+	+	-	2765	1771	0	0	3163	21	0	7720	43	2964	0	-817	639	0	143	2929	16	10649	59	29
Konc 3	180	180	-	+	+	(+)	2804	1751	0	0	3080	21	0	7656	43	2964	750	-4679	639	0	109	-217	-1	7439	41	37
Konc 4	270	188	50%	+	-	-	4103	2678	461	0	4762	32	1684	13720	51	3059	0	-2122	663	0	273	1873	10	15593	58	33
Konc 5	270	188	50%	+	+	(+)	4189	2636	461	0	4596	31	1684	13597	50	3164	1000	-8087	663	0	191	-3069	-16	10528	39	47
Konc 6	357	168	+	+	(+)	-	4248	3435	1855	0	6021	40	4601	20200	57	800	0	-3310	760	0	168	-1582	-9	18618	52	111
Konc 7	357	48	+	-	-	+	4331	3394	1855	0	6480	44	4601	20705	58	614	4752	-7936	0	693	0	-1877	-39	18828	53	148
Konc 8	357	48	+	-	-	+	4331	3394	1855	0	6480	44	4601	20705	58	614	4752	-7824	0	693	0	-1765	-37	18940	53	148
Konc 9	1358	180	+	-	-	+	16457	12898	9212	0	24623	167	17392	80749	59	3294	18057	-39061	0	3489	0	-14221	-79	66528	49	148

{+} = recirkuleret væske

(+) = forbehandling af recirkuleret fiber

I sc. 6-9 indgår kvæggyllen i landbrugssiden, men føres ikke til biogasanlægget.

Det er det imidlertid i koncept 3, hvor den recirkulerede fiber (7500 tons) forbehandles ved vådoxidering. Her er biogassiden rentabel, med nettoomkostninger for det samlede system på kun 41 kr. pr. ton udgangsmængde.

I stedet for recirkulering af fiber, kan tørstofindholdet i anlægget øges ved, at en del af biomassen tilføres i form af forsepareret fiber fra svinegylle. I koncept 4 tilføres 50 % af svinegyllen som fiber. Systemets beregnede nettoomkostninger beløber sig til 58 kr. pr. ton udgangsmængde, hvilket er lidt mere end koncept 0 uden biogas, men noget gunstigere end det traditionelle biogasanlæg. Biogassiden er ved koncept 4 ikke rentabel.

Det er den derimod i koncept 5, hvor den indkomne fiber samudrådnes med recirkuleret vådoxideret fiber. Her er de beregnede nettoomkostninger kun 39 kr. pr. ton udgangsmængde. For alle koncepterne 1-5 gælder, at de på landbrugssiden alle er gunstigere end koncept 0, alternativet uden biogas.

De resterende koncepter 6-9 omfatter alle alene tilførsel af fiber fra forsepareret svinegylle. Kvæggylle anvendes i oplandet uden tilførsel til biogasanlægget.

Koncept 6 omfatter recirkulering af væske. Der kommer således kun fiber ind og ud af anlægget. Herved minimeres de samlede transportomkostninger. Biogassiden findes rentabel med samlede nettoomkostninger for systemet på 52 kr.

Koncept 7 og 8 kommenteres under et. Her tilføres al svinegylle som fiber, der forbehandles inden udrådning. I koncept 7 anvendes en traditionel reaktor, og i koncept 8 er der forudsat anvendt en UASB reaktor med meget kort opholdstid (1 dag). Ved små størrelser er disse dog meget dyre i henhold til de forhåndenværende oplysninger. Derfor er biogasanlæggets nettoresultat en smule ringere end i koncept 7. Ikke desto mindre er biogassiden i begge koncepter rentable, med beregnede nettoomkostninger for det samlede system på 53 kr. pr. ton udgangsmængde.

Koncept 9 svarer til koncept 7, men har knap 4 gange større behandlingskapacitet. Derved udnyttes de økonomiske skalaeffekter, og biogasanlæggets nettoresultat er særdeles attraktivt. Systemets nettoomkostninger beløber sig til 49 kr. pr. ton udgangsmængde.

Det mest iøjnefaldende ved resultaterne er effekten af forbehandling ved vådoxidering. Da der er tale om en teknologi under udvikling, er der naturligvis betydelig

usikkerhed omkring teknikkens drift, økonomi og effekt for gaspotentiale. Som nævnt er der anvendt en behandlingspris på 100 kr. pr. ton fiber. Ved denne pris, og ved de i øvrigt anvendte forudsætninger, synes teknologien at være endog særdeles attraktiv som forbehandling på et biogasfællesanlæg. Men det må understreges, at den anvendte behandlingspris er meget foreløbig. Hvis det i praksis viser sig, at prisen er væsentlig højere, vil det i sagens natur medføre, at rentabiliteten i forbehandling med denne teknologi er lavere end her skitseret.

Der er to årsager til at vådoxidering forekommer så gunstig. For det første øges gaspotentialet ved oplukning af fibre. For det andet bliver fiberfraktion med 30 % tørstof flydende, hvorved kapacitetsudnyttelsen i anlægget forbedres markant.

Resultaterne tyder på et betydeligt potentiale i forbehandling, og kan derfor give grundlag for at fokusere nærmere på andre teknologier til forbehandling, eller metoder til at øge omsætteligheden af gyllefibre. Af andre muligheder kan nævnes trykkogning, der blev indført ved Green Farm Energy anlæggene, og der har tidligere under Udviklingsprogrammet på Biogasområdet været arbejdet med både mekaniske, kemiske og enzymatiske metoder til behandling af fibre.

I forbindelse med ethanolprojekter har det været nævnt, at priserne på enzymer er faldet i de senere år, hvilket måske kan aktualisere anvendelsen af enzymer. Endelig kan der arbejdes med at forlænge opholdstiden for de tungest omsættelige dele af biomassen enten ved større reaktorkapaciteter, seriedrift af reaktorer eller mekanisk tilbageholdelse af fiber i reaktorerne.

Alle behandlingskoncepterne 2-9 repræsenterer en mulighed for at forbedre biogasanlæggets nettoresultat i forhold til det traditionelle biogasanlæg i koncept 1. Og bortset fra koncept 2 og 4 repræsenterer de alle en mulighed for lavere samlede omkostninger pr. ton udgangsmængde. De to omfatter hhv. recirkulering af fiber og tilførsel af fiber, begge uden vådoxidering.

Det forholder sig nærmest omvendt på landbrugssiden. Her er fordelen størst ved koncept 2-5, hvor omkostninger til separering på gårdene og indtransport af fiber har ingen eller et begrænset omfang. Samtidig sker borttransport af overskudsgylle eller fiber for biogasanlæggets regning. I koncept 6-9 bærer landbrugssiden ret betydelige omkostninger til separering og indtransport af fiber.

De omkostninger, der bæres af landmændene til separering og transport af overskydende gylle eller gødningsfraktioner modsvares i et vist omfang af gevinster i den almindelige landbrugsdrift. Det vil sige, at når landmændene påtager sig omkostninger til separering og/eller borttransport betyder det, at de enten kan fastholde en husdyrproduktion, som de alternativt skulle reducere, eller, at de har mulighed for at ekspandere husdyrholdet svarende til den mængde næringsstoffer der fjernes.

5.5. Resultatanalyser

I tabel 5.2 vises nettoomkostningerne pr. ton udgangsmængde for de samlede systemer. Derved kan systemerne sammenlignes. Det fremgår af tabellen, at behandlingskoncepterne alle er betydeligt bedre end det traditionelle biogaskoncept 1, men kun få koncepter er markant gunstigere end situationen uden biogasanlæg.

	Udgangsmængde	Dim mængde	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Kr. pr. ton udgangsmængde
Konc 0	180	0	-	-	-	-	55
Konc 1	180	180	-	-	-	-	74
Konc 2	180	180	-	+	+	-	59
Konc 3	180	180	-	+	+	(+)	41
Konc 4	270	188	50%	+	-	-	58
Konc 5	270	188	50%	+	+	(+)	39
Konc 6	357	168	+	+	(+)	-	52
Konc 7	357	48	+	-	-	+	53
Konc 8	357	48	+	-	-	+	53
Konc 9	1.358	180	+	-	-	+	49

Overordnet kan man sige at de viste behandlingsscenarier repræsenterer to strategier for reduktion af systemets nettoomkostninger, nemlig enten ved at optimere udbyttet fra den biomasse, der er tilført anlægget, eller ved at øge tørstofmængden ved at tilføje forsepareret fiber. Som nævnt viser alle de viste koncepter en reduktion af nettoomkostningerne i forhold til koncept 1, men ikke alle er dog lige overbevisende i for-

hold til koncept 0. Det er karakteristisk, at de to bedste alternativer, 3 og 5 begge omfatter forbehandling af recirkulerede fibre, og repræsenterer dermed den førstnævnte strategi. Koncept 5 er imidlertid en kombination af begge strategier, og viser sig, med de her anvendte forudsætninger, at være det gunstigste koncept. De efterfølgende koncepter, der alene repræsenterer sidstnævnte strategi, er knapt så attraktive som 3 og 5, men dog gunstigere end både 0 og 1.

En sammenligning af koncepterne hvad angår landbrugssiden kan ses af tabel 5.3, der viser nettoomkostningerne for landbrugssiden. I modellerne er der foretaget det valg, at det er biogasanlægget, der står for ind og udtransport af flydende gødningsfraktioner, hvorimod det er landmændene, der afholder omkostninger både til separation på gårdene i de tilfælde, hvor det er relevant, og transporten af fiber til anlægget.

Tabel 5.3. Nettoomkostninger på landbrugssiden, kr. pr. ton udgangsmængde							
	Udgangsmænde	Dim mængde	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Kr. pr. ton udgangsmængde
Konc 0	180	0	-	-	-	-	55
Konc 1	180	180	-	-	-	-	48
Konc 2	180	180	-	+	+	-	43
Konc 3	180	180	-	+	+	(+)	43
Konc 4	270	188	50%	+	-	-	51
Konc 5	270	188	50%	+	+	(+)	50
Konc 6	357	168	+	+	(+)	-	57
Konc 7	357	48	+	-	-	+	58
Konc 8	357	48	+	-	-	+	58
Konc 9	1.358	180	+	-	-	+	59

Med denne fordeling af omkostningerne viser tabellen, at landmændene har størst fordel af de gyllebaserede systemer, der minder om det traditionelle biogassællesanlægskoncept. Det skyldes, at det her forudsættes, at det er biogasselskabet, der forestår ind og udtransport af gylle og borttransport af overskuddet. Samtidig er det forudsat, at landmændene bekoster både separation og indtransport af fiberen, men at biogasselskabet står for borttransport af overskuddet. For landmændene er det naturligvis dyrere at foretage separering på gårdene og indtransport af fiber end blot at lade gyl-

len afhente på biogasanlæggets regning. Det fremgår af, at koncept 6-9 for landmændene er dyrere end både koncept 0 og 1. Koncept 4 og 5 er dog fortsat billigere som gennemsnit, fordi kun halvdelen af svinegyllen separeres.

Når nogle landmænd alligevel forventes at være interesseret i at foretage separering på gårdene, er det fordi der er mulighed for derved at reducere arealkravet. Den enkelte landmand må afveje denne fordel med de meromkostninger, der er forbundet med separation og transport til anlægget. Den økonomiske værdi heraf er ikke indregnet i analysen.

Lige omvendt forholder det sig med fordelene for biogasselskabet. Indtransport af fiber, som landmændene betaler, medfører besparelser på ind og udtransport samt borttransport, hvilket er medvirkende til betydelige forbedringer i de beregnede resultater for biogasanlægget. Dette fremgår af tabel 5.4.

Tabel 5.4. Nettoomkostninger på biogassiden kr. pr. ton behandlet i anlægget							
	Udgangsmænde	Dim mængde	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Kr. pr. ton behandlet
Konc 0	180	0	-	-	-	-	0
Konc 1	180	180	-	-	-	-	27
Konc 2	180	180	-	+	+	-	16
Konc 3	180	180	-	+	+	(+)	-1
Konc 4	270	188	50%	+	-	-	10
Konc 5	270	188	50%	+	+	(+)	-16
Konc 6	357	168	+	+	{+}	-	-9
Konc 7	357	48	+	-	-	+	-39
Konc 8	357	48	+	-	-	+	-37
Konc 9	1.358	180	+	-	-	+	-79

Tabellerne 5.3 og 5.4 synes at vise, at det vil være nødvendigt, men også muligt, at vælge en lidt anden fordeling af omkostningerne mellem landmænd og anlæg, for at systemerne kan rumme de rette incitament for begge parter. Det betyder, at landmændene i de mere traditionelle koncepter kan bidrage i et vist omfang til dækning af

transportomkostninger, og at biogasanlægget i nogen grad bidrager i de koncepter, hvor der tilføres forsepareret fiber.

Transportomkostningerne påkalder sig traditionelt stor opmærksomhed i biogassfælle-s anlægssammenhæng. Men en analyse af transportomkostningerne i de forskellige koncepter kan ikke baseres på en direkte sammenligning af transportomkostningerne på vægtbasis, eftersom der i nogle koncepter transporteres gylle og i andre fiber med højere tørstofindhold. I tabel 5.5 måles transportomkostningerne derfor pr. ton tørstof der transporteres.

Tabel 5.5. Omkostninger til ind og udtransport, i alt, pr. ton behandlet og pr. ton tørstof										
	Udgangsmænde	Dim mængde	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	1.000 kr.	Tons tørstof tilført	Kr. pr. ton behandlet	Kr. pr. ton tørstof
Konc 0	180	0	-	-	-	-	0	0	0	0
Konc 1	180	180	-	-	-	-	2.963	13.666	16	217
Konc 2	180	180	-	+	+	-	2.964	13.666	16	217
Konc 3	180	180	-	+	+	(+)	2.964	13.666	16	217
Konc 4	270	188	50%	+	-	-	3.520	19.194	19	183
Konc 5	270	188	50%	+	+	(+)	3.625	19.194	19	189
Konc 6	357	168	+	+	{+}	-	2.655	14.256	16	186
Konc 7	357	48	+	-	-	+	2.469	14.256	51	173
Konc 8	357	48	+	-	-	+	2.469	14.256	51	173
Konc 9	1.358	180	+	-	-	+	12.506	54.173	69	231

Det fremgår ikke overraskende, at transportomkostningerne *pr. ton behandlet* er højest ved indtransport af fiber og lavest ved transport af gylle, hvorimod det forholder sig omvendt hvis der i stedet regnes *pr ton tørstof*. Dog bortset fra koncept 9, hvor transportafstanden er markant større.

Men hele forklaringen på transportomkostningerne kan først gives når der inddrages yderligere parametre i analysen. Det gælder de omkostninger til separation på gårdene og/eller på anlægget, der må afholdes for at producere fiber, men også effekten på gasudbyttet, der jo er et andet formål med at koncentrere biomassen. De samlede omkostninger til ind, ud og borttransport samt separation er vist i tabel 5.6 og udtrykt pr. ton behandlet, pr. ton tørstof og pr m³ methan produceret.

Tabel 5.6. Samlede nettoomkostninger til separering og transport pr. ton behandlet, pr. ton tørstof og pr. m³ methan produceret

	Udgangsmænde	Dim mængde	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Saml. omk. 1.000 kr.	Tons tørstof tilført	1.000 m ³ methan prod.	Kr. pr. ton behandlet	Kr. pr. ton tørstof	Kr. pr. m ³ methan
Konc 0	180	0	-	-	-	-	1.159	0	0	0	0	0
Konc 1	180	180	-	-	-	-	4.180	13.666	2.882	23	306	1,45
Konc 2	180	180	-	+	+	-	3.746	13.666	3.429	21	274	1,09
Konc 3	180	180	-	+	+	(+)	3.712	13.666	4.373	21	272	0,85
Konc 4	270	188	50%	+	-	-	6.140	19.194	4.010	33	320	1,53
Konc 5	270	188	50%	+	+	(+)	6.163	19.194	5.725	33	321	1,08
Konc 6	357	168	+	+	{+}	-	8.184	14.256	3.421	49	574	2,39
Konc 7	357	48	+	-	-	+	7.763	14.256	4.562	162	545	1,70
Konc 8	357	48	+	-	-	+	7.763	14.256	4.562	162	545	1,70
Konc 9	1.358	180	+	-	-	+	33.387	54.173	17.335	185	616	1,93

Tabellen viser, at de gyllebaserede koncepter er billigst målt pr. ton behandlet og pr. ton tørstof når omkostningerne til separering er medregnet. Koncepter, der omfatter tilførsel af fiber vinder imidlertid terræn når effekten på gasudbyttet inddrages. Igen er det koncepter, der omfatter recirkulering, der springer i øjnene, men effekten her nås jo netop også uden at transportomkostningerne øges. De kræver blot den relativt billige efterseparering. De laveste omkostninger til transport og separation pr. m³ methan findes ved koncept 3, 5 og 2, der alle omfatter recirkulering, men hvor 3 og 5 kombinerer forbehandling og recirkulering. Men i realiteten er det kun i den samlede vurdering, at det korrekte billede viser sig, fordi, der jo også er en effekt på kapacitetsudnyttelsen, og dermed behandlingsomkostningerne i anlægget, som følge af separering og forbehandling.

5.6. Følsomhedsanalyser

Lavere tørstofindhold

I beregningerne er der anvendt normtal for indhold af tørstof og næringsstoffer i husdyrgødningen. I praksis ses ofte lavere indhold af tørstof som følge af spild og tilgang af vand fra forskellige kilder. De tørstofprocenter der er anvendt i analysen kan derfor opfattes som det maksimalt opnåelige under danske forhold, hvis der gøres en væsent-

lig indsats for at minimere vandspild og tilledning til gyllen, som udtryk for, at den rå husdyrgødning er optimeret maksimalt til biogasproduktion.

I tabel 5.7 vises en følsomhedsberegning, der viser hvordan resultaterne ville være, hvis den samme tørstofmængde skulle håndteres i systemet, men med en 50 % større udgangsmængde, svarende til et lavere tørstofindhold pr. ton. Det vil påvirke de samlede omkostninger i opadgående retning i alle systemerne, idet en større mængde skal håndteres, hvorimod gennemsnitsomkostningerne som udgangspunkt kan vise sig at blive lavere, dels pga. størrelsesøkonomiske forhold, dels fordi omkostninger til køb og udkørsel af handelsgødning, der jo er medregnet i de samlede omkostninger, bliver lavere ved større udgangsmængde af gylle, når de udtrykkes som gennemsnitsomkostninger pr. ton gylle i udgangsmængden.

Tabel 5.7. Nettoomkostninger i de samlede systemer ved 50 % større mængde. Der er kun medtaget mængdeafhængige omkostninger, dvs. omkostninger til køb og udkørsel af handelsgødning er udeladt

	Udgangsmænde	Ved 50% større mængde	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Kr. pr. ton behandlet ved oprindelig udgangsmængde	Kr. pr. ton behandlet ved 50% større mængde
Konc 0	180	270	-	-	-	-	32	33
Konc 1	180	270	-	-	-	-	52	60
Konc 2	180	270	-	+	+	-	41	52
Konc 3	180	270	-	+	+	(+)	24	38
Konc 4	270	405	50%	+	-	-	40	48
Konc 5	270	405	50%	+	+	(+)	22	34
Konc 6	357	512	+	+	{+}	-	35	34
Konc 7	357	512	+	-	-	+	34	33
Konc 8	357	512	+	-	-	+	34	34
Konc 9	1.358	1946	+	-	-	+	31	31

For denne analyse er det afgørende hvor mange mængdeafhængige omkostningselementer koncepterne indeholder. Derfor er tynd gylle relativt ugunstigt for de koncepter, hvor der indtransporteres og behandles usepareret gylle, idet både transportomkostninger og behandlingsomkostninger i anlægget stiger uden at indtægterne øges. Mest uheldigt virker den tynde gylle for de koncepter, hvor der afholdes særligt store

omkostninger til at udnytte gaspotentialet i gyllen, uden at der opnås en skalaeffekt på investeringen i selve biogasanlægget. Dette er tilfældet for koncept 3 og 5, der jo som nævnt var de gunstigste med basisberegningernes noget højere tørstofindhold. Analysen her viser, at der ved koncepterne med 100 % gærdseparering kan opnås resultater på mindst samme niveau, når tørstofindholdet i gyllen er lavere.

Usikkerhed på gasproduktionen

Der er naturligvis en vis usikkerhed på vurderingen af gasproduktionen i de forskellige koncepter. Som udtryk herfor kan anvendes den variation, der er fundet, og som typisk ligger mellem 5 og 7 %.

I tabel 5.8 vises resultaterne ved en forudsætning om 10 % lavere gasproduktion i alle koncepterne.

Tabel 5.8. Nettoomkostninger ved 10 % lavere gasproduktion i behandlingsscenarierne (koncept 2-9 er varieret)								
	Udgangsmængde	Dim mængde	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Kr. pr. ton behandlet i grundbe- regningen	Kr. pr. ton behandlet ved 10% lavere produktion
Konc 0	180	0	-	-	-	-	55	
Konc 1	180	180	-	-	-	-	74	
Konc 2	180	180	-	+	+	-	59	64
Konc 3	180	180	-	+	+	(+)	41	48
Konc 4	270	188	50%	+	-	-	58	62
Konc 5	270	188	50%	+	+	(+)	39	45
Konc 6	357	168	+	+	{+}	-	52	55
Konc 7	357	48	+	-	-	+	53	56
Konc 8	357	48	+	-	-	+	53	56
Konc 9	1.358	180	+	-	-	+	49	53

Behandlingskoncepternes konkurrencedygtighed i forhold til koncept 0 og 1 forringes i sagens natur når gasudbyttet forudsættes reduceret. Mest udtalt findes dette i de koncepter, hvor behandlingen forudsætter størst effekt på gasudbyttet, nemlig i koncept 3 og 5, hvor der er effekt af både recirkulering og forbehandling. Alle behandlingskoncepterne er dog fortsat gunstigere end koncept 1, men kun få er nu væsentligt gunsti-

gere end koncept 0. Det betyder, at systemernes konkurrencedygtighed er ganske afhængige af, at de forudsatte gasudbytter kan opnås.

Omkostningerne til forbehandling

Vådoxidering har vist sig som en afgørende parameter i koncepterne. Der er imidlertid betydelig usikkerhed på omkostningerne hertil. I tabel 5.9 er vist en følsomhedsanalyse, hvor behandlingsprisen for vådoxidation er varieret fra de 100 kr. pr. ton fiber, der er valgt som standard, til 250 kr. pr. ton fiber. Variationen er udført for koncept 7.

Tabel 5.9. Følsomhed på prisen for vådoxidation

Behandlingspris, vådoxidering	Nettoomkostninger, kr. pr. ton udgangsmængde
100	53
125	56
150	59
175	63
200	66
225	69
250	73

Det fremgår af tabellen, at koncept 7 er gunstigere end både koncept 0 og 1 ved en pris for vådoxidation på 100 kr. pr. ton fiber. Men allerede ved en pris på 125 kr. pr. ton fiber er konceptet ringere end koncept 0, hvorimod det fortsat er gunstigere end det traditionelle biogasfællesanlæg i koncept 1 ved en pris på 250 kr. pr. ton fiber.

5.7. Konklusioner

Det mest markante resultat af de foreløbige analyser er, at forbehandlingen med de her anvendte forudsætninger synes at rumme et betydeligt potentiale. Der er dog som nævnt betydelig usikkerhed om omkostningerne hertil. Følsomhedsanalysen viser dog, at omkostningerne godt må stige lidt uden at økonomien ødelægges af den grund. Følsomheden er relativt stor vedrørende opnåelse af den ekstra gasproduktion, der er forudsat. Spørgsmålet er så, om der ved andre (ikke undersøgte) konceptmodificeringer o.a. kan opnås lignende effekter. Dette undersøges nærmere i projektets næste fase.

De samlet set to mest attraktive koncepter er koncept 3 og 5, hvor der recirkuleres forbehandlede fibre, hhv. tilføres fibre, der recirkuleres efter forbehandling. Altså, det

mest lovende synes at være forbehandling af recirkulerede fibre, svarende til i højere grad at optimere udbyttet af det man har i anlægget i forvejen. I de nævnte koncepter tilføres husdyrgødningen overvejende i flydende form, men, som koncept 5 viser, kan resultatet forbedres yderligere, hvis dette kombineres med tilførsel af mere tørstof i form af forsepareret fiber, som det er tilfældet i koncept 5.

De koncepter, der baseres alene på tilførsel af fiber, repræsenterer også forbedringer i forhold til de kendte koncepter. Men det er dog nok tvivlsomt, om der på nuværende tidspunkt vil kunne findes en kreds af landmænd som leverandører til et biogasanlæg, der alle er interesserede i at forseparere gyllen på gårdene. Derfor vil indtransporten i praksis formentlig ske som en kombination af gylle og forsepareret fiber.

Noget andet er, at koncepter med forseparering på gårdene er relativt mere fordelagtige ved lavere gennemsnitligt tørstofindhold i gyllen

Resultaterne tyder på, at systemer med overvejende brug af gårdseparering ikke nødvendigvis er en fordel for hverken landmænd eller biogasanlæg, idet separeringen under alle omstændigheder, med de her anvendte forudsætninger, kan foretages billigere på anlægget.

Det er interessant, at nogle af de analyserede tiltag til forbedring af koncepterne ikke er mere avancerede end at de med fordel vil kunne implementeres også på eksisterende anlæg, med henblik på at imødekomme landmænd med ønske om separering og samtidig mindske afhængigheden af affald.

Referencer

Hjort-Gregersen, K. (2003): Økonomien i biogafællesanlæg. Udvikling og status medio 2002. Fødevarøkonomisk Institut, rapport nr. 150.

Jacobsen, B.H., et al. (2002): Separering af gylle – en teknisk-økonomisk analyse. Fødevarøkonomisk Institut, rapport nr. 142.

Nielsen, L.H., et al. (2002): Samfundsøkonomiske analyser af biogafællesanlæg – med tekniske og selskabsøkonomiske baggrundsanalyser. Fødevarøkonomisk Institut, rapport nr. 136.

6. Perspektivering

Perspektiverne i det hidtidige arbejde skal ses i lyset af, dels brugbarheden af den udviklede analysemodel, dels anvendelsen af resultaterne som grundlag for det videre arbejde.

Modellen synes egnet til en samlet analyse af de mange forskellige effekter som landbrugsdelen og biogasdelen afstedkommer, dels hver for sig dels tilsammen. Eksempelvis må omkostningerne i behandlingskæden nødvendigvis ses under et for at forklare ændringerne i systemernes lønsomhed i forhold til referencerne. Omvendt er det vigtigt at kunne studere landbrugsdelen og biogasdelen hver for sig for at forstå incitamentsstrukturen og for at afdække delelementerne i omkostningsmønstret.

Der er ikke i modellen eksplicit medtaget afsætning af overskydende næringsstoffer, fx via forbrænding, og konvertering af biogassen til el og varme. Det vil dog være relativt enkelt at tilføje disse dele.

Derimod vil det være mere kompliceret at få tilkoblet de økonomiske konsekvenser af patogen reducerende tiltag. Effekterne heraf skal måles som værdien af ændringer i smittepresset for de deltagende bedrifter og kræver en produktionsøkonomisk model repræsenterende forskellige bedriftstyper og oplande. Om en sådan modeludvikling kan rummes inden for projektets rammer er tvivlsomt, men nogle indledende overvejelser vil formentlig kunne gøres.

Under forudsætning af, at analyseforudsætningerne er realistiske, viser analyseresultaterne, at det er muligt via forskellige kombinationer af separation, forbehandling og recirkulering at frembringe anlægskoncepter som under forudsætning af ren gylledrift er betydeligt mere lønsomme end det traditionelle biogafællesanlæg. Dette er imidlertid ikke lønsomt målt i forhold til en situation uden biogasanlæg, men for nogle koncepter er fremgangen så betydelig, at økonomisk drift alene på gylle skulle være inden for rækkevidde.

Især to koncepter skiller sig ud. Begge inkluderer efterseparation og vådoxidation af den tilbageførte fiberfraktion. Det ene koncept er baseret på tilførsel af gylle og i det andet er en del af tilførslerne fiberfraktion fra en gårdseparering, således at tørstofindholdet i inputtet øges.

Disse to koncepter forventes at udgøre grundlaget for de teknologier, der vil blive arbejdet videre med. Hertil kommer nogle andre metoder, som også synes at rumme muligheder for forbedret gasudbytte, nemlig serieudrådning, mekanisk findeling og længere opholdstid i reaktoren for fiberpartiklerne. Tilsammen skønnes disse muligheder at rumme nogle tiltag, som vil kunne realiseres også i bestående anlæg.

Vådoxidation skal nærmere analyseres i det videre arbejde. Dels vedrørende omkostningerne til investeringer og drift. Udviklingsmæssigt er teknologien på laboratorie/pilot stedet, og der er fortsat mange usikkerheder ved overgang til en fuldskalasituation. Vådoxidation synes at være blandt de mere lovende teknologier i fremtidens biogasanlæg. Dette udsagn vil projektgruppen gerne uddybe yderligere.

I forhold til beskrivelsen i dette Working Paper skal de veterinære risikoanalyser videreføres. Der udvikles en model til opgørelse af transfer sandsynligheder for smitte ved forskellige anlægstyper i samspil med indtransport af gylle/fibre og omsætning af den afgassede biomasse. Rangordningen mellem systemerne opgøres ved beregning af en relativ risiko til referencescenariet.

Endelig vil det videre arbejde omfatte samfundsøkonomiske analyser af udvalgte koncepter. De foreliggende analyser er opgjort for det traditionelle biogasfællesanlæg, hvor der foruden gylle tilføres 20-25% biologisk affald. I denne sammenhæng indgår biologisk affald ikke, hvilket har effekt for samfundsøkonomien. Til gengæld øges gasudbyttet via forbehandling m.v. På landbrugssiden tages udgangspunkt i et husdyrtæt område, hvor man ikke uden videre kan sikre en miljømæssig hensigtsmæssig næringsstofanvendelse ved omfordeling inden for området, som det er forudsat i tidligere samfundsøkonomiske analyser.

Working Papers

Fødevareøkonomisk Institut

04/06	Marts 2006	Red. Johannes Christensen	Fremtidens biogasfællesanlæg Nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale
03/06	Januar 2006	Jacob Ladenburg	Attitudes towards Wind Power Development in Denmark
02/06	Januar 2006	Johannes Sauer and B. Balint	Romanian Maize – Distorted Prices and Producer Efficiency
01/06	Januar 2006	Johannes Sauer	Economic Theory and Econometric Practice: Parametric Efficiency Analysis
07/05	November 2005	Hans Grinsted Jensen Henrik Zobbe	Domestic Support and the Doha Development Agenda: An exercise in political economy
06/05	August 2005	Jens Kjærsgaard	Incorporating multiple objectives in fisheries management: Experiences and conceptual implications
05/05	Juli 2005	Søren Marcus Pedersen	Potato production in Europe – a gross margin analysis
04/05	Juni 2005	Jens-Martin Bramsen	Kontraktproduktion af slagtekyl- linger
03/05	Maj 2005	Henrik Huusom	Administration Costs of Agri- environmental regulations. Empi- rical Work.
02/05	Februar 2005	Jens Abildtrup, Morten Gylling og Christian Vesterager	Forøgelse af naturværdien på landbrugsejendomme - driftsøko- nomiske vurderinger af tiltag
01/05	Februar 2005	Jakob Vesterlund Olsen og Mogens Lund	Effektmåling ved implementering af The Balanced Scorecard på kvægbedrifter

